

ステレオ AR 環境における 半透明ランダムドットマスクが奥行き知覚に与える影響

大槻麻衣 葛岡英明

概要: 拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 分野における実用的なアプリケーションとして、実物体の内部にある物体を仮想物体として実物体表面に重畳描画し、現実であれば手前の物体に遮られて見えない内部の物体を観察可能にするものがある。しかし、実物体の内部にある仮想物体を単純に実物体の表面に重畳描画すると、本来見えないはずの仮想物体が何にも遮蔽されずに見えていることから、「見えている仮想物体は実物体表面よりも手前にある」と知覚されてしまい、仮想物体の奥行きが正しく知覚できないという問題がある。これに対し、我々は前研究においてランダムドットマスクを実物体表面に付与することによって、「実物体表面に開いた多数の小孔越しに内部の仮想物体を観察している」ように観察者に知覚させる手法を提案した。

本稿ではまず、提案手法を用いたアプリケーションを学会にて技術展示を行った際に得られた知見について報告する。また、提案手法では、内部の仮想物体をマスク越しに観察するため、見易さが低下していた。そこで、マスクを半透明にすることで、見易さと奥行き知覚の向上の両立を目指した。本稿では、マスクの透明度と、見易さ・奥行き知覚の精度トレードオフについて評価実験に基づいて議論する。

1. はじめに

実物体の内部にある物体を仮想物体として実物体表面に重畳描画し、現実であれば手前の物体に遮られて見えない内部の物体を観察可能にすることは、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 分野における実用的なアプリケーションのひとつである。具体的には、医療分野においては身体内部の重要な血管や臓器 [2][3][8][10][15]、工業分野においては床下の配線や配管を、実風景に重畳して描画する [14][17][18]。

しかし、実物体の内部にある仮想物体を単純に実物体の表面に重畳描画すると、本来見えないはずの仮想物体が何にも遮蔽されずに見えていることから「見えている仮想物体は実物体表面よりも手前にある」と知覚されてしまい、仮想物体の奥行きが正しく知覚できないという問題がある (図 1 (a)) [6][16]。これに対して我々は、前研究においてランダムドットマスクを実物体表面に付与することによって「実物体表面に開いた多数の小孔越しに内部の仮想物体を観察している」ように観察者に知覚させる「ステレオ疑似透過」(図 1 (b), 図 2) を提案した [11][12]。

本稿ではまず、提案手法を用いて制作したアプリケーションを学会で技術展示した際に得られた知見について報告する。次に、内部の仮想物体の見易さを過度に低下させずに奥行き知覚を向上させることができる、マスクの適切な透明度に関して、評価実験に基づいて議論する。

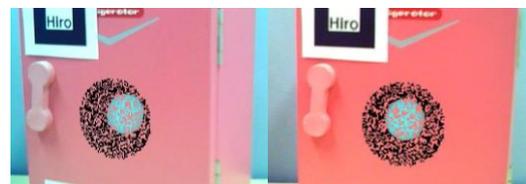
2. 関連研究

ユーザの奥行き知覚向上のために、実物体表面に仮想の窓を作成し、その窓越しに仮想物体を観察する Cut-away と呼ばれる手法がある [4][14][15]。また、Bichlmeier ら [2] は実物体表面の一部に半透明の窓を作成し、その窓から内部

の仮想物体を観察できるようにしている。これらの研究では、各手法によって物体間の前後関係が把握可能になることは確認されているが、実物体表面から仮想物体までの距



(a) 内部の仮想物体を実物体に重畳描画した様子
(a) Overlaying the inner virtual object on the real object.



(b) ランダムドットマスク (提案手法) を用いた様子
(b) Using the random dot mask (proposed method).

図 1 ステレオ AR 環境における「ステレオ疑似透過」の例 (交差法による立体視画像)
Figure 1 An example of “Stereoscopic Pseudo-Transparency” in stereoscopic AR (cross-eyed stereo).

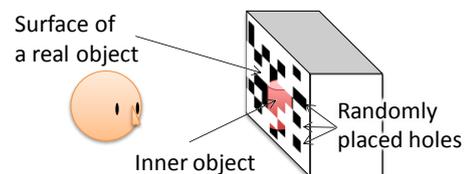


図 2 多数の小孔越しに内部の仮想物体を観察するように知覚させる
Figure 2 Making an observer perceive as observing the virtual object through many small holes.

離知覚の精度に与える影響に関する分析はおこなわれていない。Kytöら [7] の手法では、Furmanskiら [4] の手法と同様に実物の壁に仮想の窓を作成するが、それに加えて、壁と同じ奥行きに補助的な仮想物体を配置している。この手法では、背面に配置された仮想物体と補助的な仮想物体を比較させることにより、距離知覚の精度が向上する、という知見が得られている。これらの提案では、手前の実物体に窓を開けてしまうため、元の形状や表面の情報が失われてしまう。

一方、実物体表面の特徴的な部分のみを強調し、それ以外の部分を透明にして仮想物体に重畳描画する Edge-based Ghosting という手法も提案されている [1][5][8]。強調した表面特徴と仮想物体を重ねることで、それらの奥行き比較が容易になり、それらの位置関係の把握が向上する。しかし、これらの手法は、実物体表面に特徴のない場合（なめらかな人体の皮膚、広い壁面など）には利用できない。

これらの問題に対し、我々はランダムドットマスクを表面特徴として付与することを提案した [11][12]。このマスクによって、表面特徴のない実物体の場合でも、奥行き手がかりを与えることができる。さらに、提案手法では、Cut-away [4][14][15] では困難な、元の物体の形状や色をある程度残すことができるという利点がある（図 3）。

我々の方法に類似した手法として、Zollmannら [18] は、画像解析に基づく人工テクスチャを追加することを提案した。Mendezら [9] は実際の物体表面に予め Important mask を追加することを提案した。一方、我々は複雑な画像解析をせずに、曲面などを含む単純な形状を使用して AR における奥行き知覚の向上に取り組む点に特徴がある。

また、Zollmannらは文献 [17] において、地面の下に配置した仮想のパイプが地面の下に見えるかどうか、および、その形状がどの位正確に把握できるか、を半透明表示、Edge-based Ghosting、提案手法（人工テクスチャ）で比較した。その結果、いずれの手法も輪郭把握の精度は変わらないが、提案手法ではより地面の下に感じられる、という結果を得ている。しかしながら、Zollmannらの研究では、奥行き知覚精度の定量的な評価は行っていない。これに対し本研究では、マスクの透明度を変更し、見易さの主観評価、および奥行き知覚精度の定量的な評価を行うとともに、マスクの透明度と、見易さ・奥行き知覚のトレードオフについて議論する。

3. アプリケーション事例：Please Show Me Inside

3.1 概要

2015年11月3日から5日の3日間、神戸国際会議場・神戸国際展示場にて SIGGRAPH ASIA 2015 の Emerging technology にて提案手法を用いた AR エンターテイメント

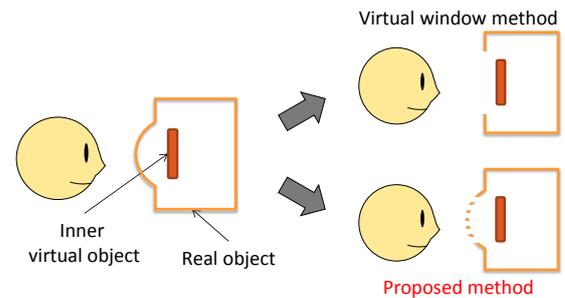


図 3 Cut-away [4][14][15] (右上) と提案手法 (右下) の比較.

Figure 3 Comparing between the Cut-away [4][9][10] (upper right) and the proposed method (bottom right).

アプリケーションの技術展示を行った（図 4）。

日本と海外で有名な4件のおとぎ話として「3匹の子豚」「鶴の恩返し」「かぐや姫」「親指姫」を題材にした。最初の2件は平面に提案手法を適用した事例である。体験者は3匹の子豚では煉瓦の家の中に子豚を、鶴の恩返しでは障子の後ろに機織りをする鶴を見ることができる。残りの2件は曲面に適用した事例である。かぐや姫、および親指姫では、体験者は竹またはチューリップの中に小さな姫がいるのを観察することができる（図 5）。



図 4 Please show me inside の SIGGRAPH ASIA 2015 の展示の様子（上段：展示ブース、下段：親指姫のデモを体験する参加者）

Figure 4 Demonstration of "Please show me inside" at SIGGRAPH ASIA 2015 (Top: Demo booth. Bottom: Participant observed "Thumbelina").

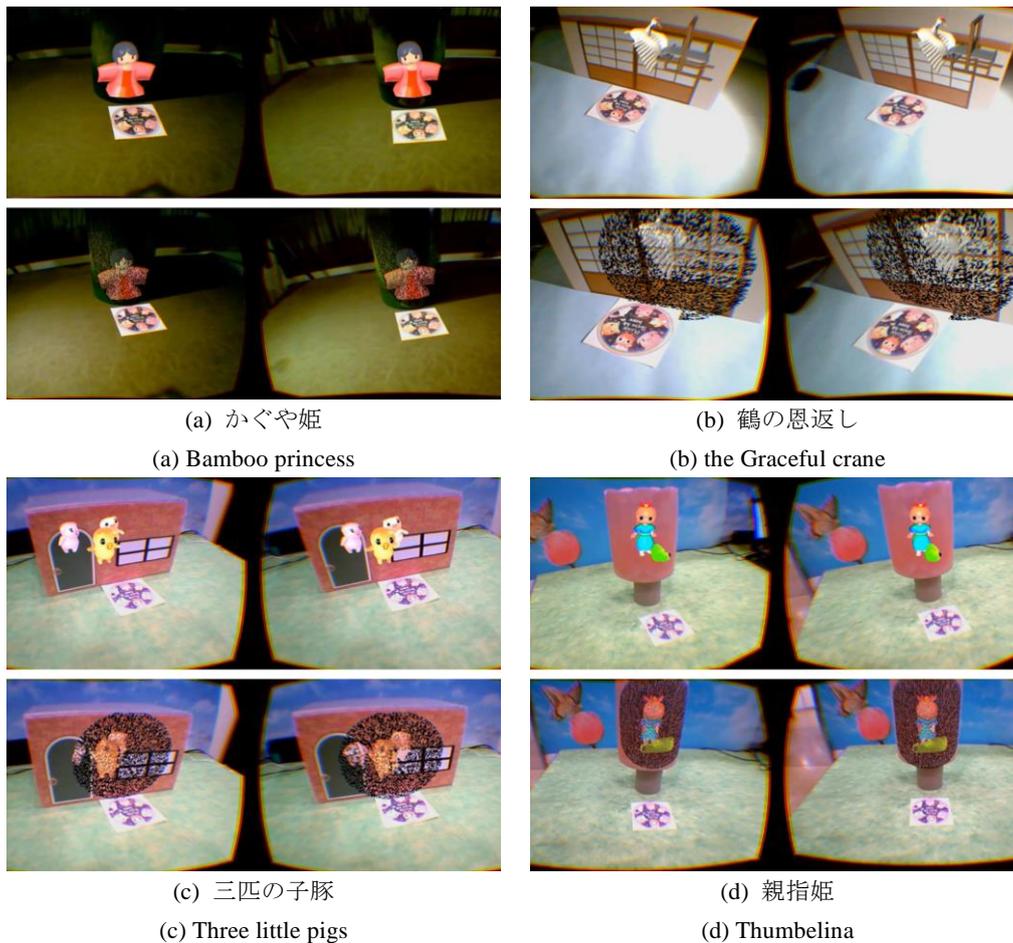


図 5 展示した作品. 上段: マスクなし (既存の AR), 下段: マスクあり (提案手法). いずれも平行法.

Figure 5 Four contents in demonstration. Top images are the cases without mask (typical AR), and bottom images are the cases with mask (proposed method). All images are rendered in parallel stereo.

本展示では, 単に我々の提案手法を公開するだけではなく, 様々な事例において, 適切なマスクパラメータを調査することも目的とした.

3.2 システム構成

展示では, Windows 8.1 OS, Intel Core i5 4460 3.2 GHz CPU, 8G RAM, NVIDIA GTX 650 を搭載したデスクトップ PC と Windows 8.1 OS, Intel Core i7-4790K 4 GHz CPU, 32G RAM, NVIDIA GTX 970M を搭載したラップトップ PC の計 2 台を用い, 常時 2 人が体験できるようにした. ビデオシーヌルーARを実現するために, ステレオ USB カメラ Ovrvision (片目の解像度 640 x 480 [px]) で実世界の風景を取得し, Unity 上で仮想物体を重畳描画したのち, ステレオ視可能なヘッドマウントディスプレイ Oculus Rift DK2 (Oculus Inc., 片目の解像度 860 x 1080 [px]) 上に提示した. 体験者の頭部位置の取得には Metaio 社の Metaio SDK を用いた.

3.3 ランダムドットマスクのデザイン

提案手法では, 仮想物体をランダムドットマスクのドット部分のみに描画することで, 実物体表面を透かして仮想円を見ているように知覚させる.

我々のシステムでは, 適切なマスクパラメータを調査す

るために, 体験者がキー操作によってマスクのドットサイズ, ドット密度を変更できるようにした. ドットサイズはマスク領域の 1 辺を何分割したか (例: 1/20 の場合はランダムドットパターン生成に 20x20 のグリッドを使用する) を示し (図 6), ドット密度はマスク領域を占めるドットの割合を示しており, ドットの密度が高くなるほど, 実物体表面の割合は少なくなる (図 7). ドットサイズ, ドット密度はいずれも独立の変数である. 我々の以前の研究 [11] では, 仮想物体から目までの距離が約 50 [cm] で, 内部の仮想物体が単純な 2 [cm] の円であった場合には, ドットサイズはマスク領域の 1/60 (当該実験環境においては 1 ドット=0.8 [mm] 四方) であり, ドット密度は 50% の場合に最も精度よく奥行きを知覚できるという知見を得た.

マスクはテクスチャとして, 実物体にマッピングして表示した. 今回の展示では, 「3 匹の子豚」「鶴の恩返し」では 20 [cm] 四方のエリアにマッピングした. 一方「かぐや姫」では直径 15 [cm], 高さ 22 [cm] の円筒, 「親指姫」では直径 15 [cm], 高さ 22 [cm] の前半分に引き延ばしてマッピングしたため, 縦長のドットになっている.

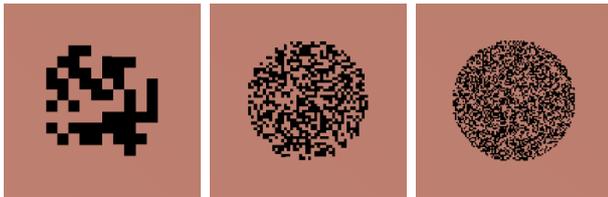


図 6 ドットサイズの例 (左から 1/10, 1/40, 1/80)
Figure 6 Dot size (from left, 1/10, 1/40, 1/80)

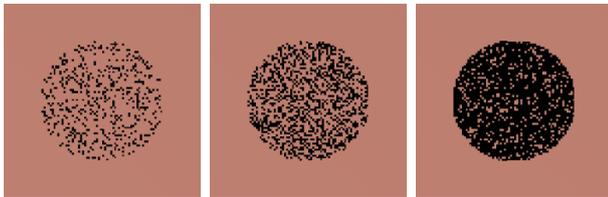


図 7 ドット密度の例 (左から 20%, 40%, 80%)
Figure 7 Dot density (from left, 20%, 40%, 80%)

3.4 マスクパラメータの調査

3.4.1 調査方法

3.1 節にも述べたとおり、本展示では、単に我々の提案手法を公開するだけではなく、様々な事例において、適切なマスクパラメータを調査することも目的とした。以下にその調査方法を述べる。

まず、体験者にマスクなしを観察させ、次にマスクありを観察させた。その後、以下の仮説を確認するためのデータ収集を行った。

1. 頭部から仮想物体までの距離が適切なドットサイズ、密度に影響する
2. 仮想物体の形状や動きの大きさによって適切なドットサイズ、密度が異なる

体験者には、マスクありの状態、キー操作によってマスクのドット密度とドットサイズを自由に変更させ、被験者が適切と感じるマスクパラメータを収集した。

3.4.2 調査結果と考察

3 日間の展示の体験人数はおよそ 300 人であり、計 195 件のデータを収集した。結果を図 8 に示す。

仮説 1 について、頭部から仮想物体までの距離とドットサイズ、およびドット密度の間で相関係数を算出したところ、前者は-0.0086、後者は 0.0110 と、相関は見られなかった。さらに、ドットサイズとドット密度の間で相関係数を算出したが、こちらも-0.1073 と、相関は見られなかった。

なお、体験者から得られた「頭部から仮想物体までの距離」は平均 43.9 [cm]、標準偏差 12.8 [cm] であった。これらより、今回の展示環境では、「頭部から仮想物体までの距離が適切なドットサイズ、密度に影響する」という仮説は支持されなかった。

仮説 2 について、提示したコンテンツごとに、得られたドットのサイズ、ドット密度の平均をまとめたものを図 9 に示す。それぞれに対して 1 要因分散分析 (要因: 提示したコンテンツ) を行った。その結果、ドットサイズについては有意傾向 ($p < 0.1$)、ドット密度については有意な差が見られた ($p < 0.001$)。これらについて、Tukey HSD による多重比較を行った結果、ドットサイズについてはコンテンツ間に有意な差は見られなかった。一方、ドット密度については「3 匹の子豚」のみ有意に他のコンテンツよりドット密度が高く、実物体表面を残す量が少なくなった。これについて他のコンテンツと比較すると、「3 匹の子豚」は実物体表面近傍だけでなく、さらにその奥にも細かい動作をする仮想物体が配置されており (図 10)、より奥の物体を見ようとして、ドット密度が高くなったのではないかと考えられる。

続いて、今回得られたデータを前研究 [11] で得られた奥行き知覚に最適なマスクパラメータ (ドットサイズ 0.8 [mm] 四方、ドット密度 50%) と比較する。今回の展示では体験者が適切だと判断したマスクパラメータは、ドットサイズの平均は 1/182.4 (標準偏差 1/134.4)、ドット密度の平均は 59.3% (標準偏差 20%) であった。

ドットサイズが 1/182.4 の時、3.3 節に述べたマッピング方法を用いているため、1 ドットのサイズは「3 匹の子豚」「鶴の恩返し」では 1.1 [mm] 四方、「かぐや姫」「親指姫」

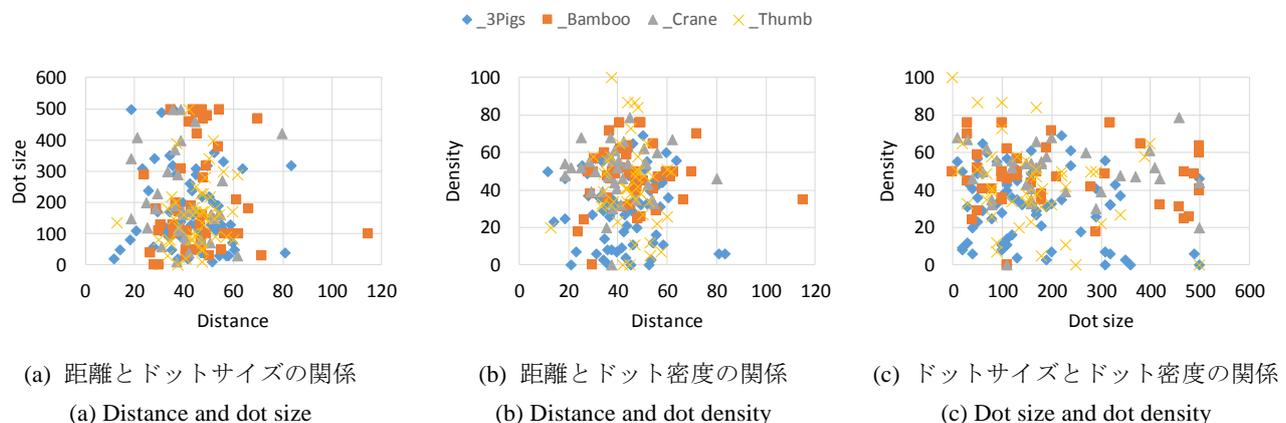


図 8 マスクパラメータ調査結果
Figure 8 Survey results of mask parameters.

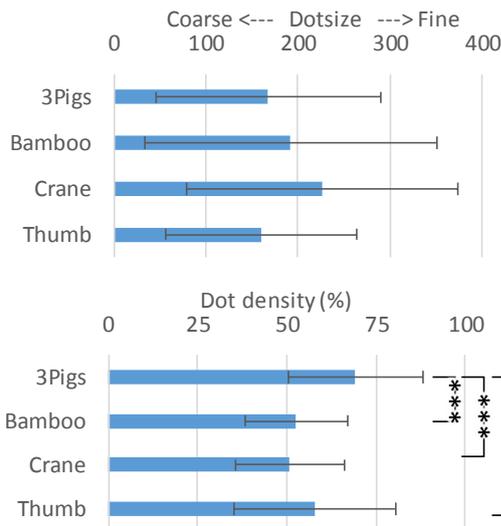


図 9 コンテンツごとのマスクパラメータの平均と標準偏差 (上段: ドットサイズ, 下段: ドット密度)
Figure 9 Average and standard deviation of mask parameter for each content (Top: Dot size. Bottom: Dot density).

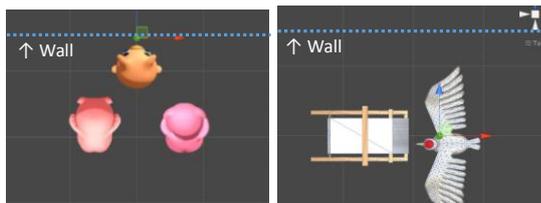


図 10 仮想物体の配置の比較
(左: 3匹の子豚, 右: 鶴の恩返し)
Figure 10 Comparing layout of virtual objects
(Left: three little pigs, Right: the graceful crane)

ではそれぞれ縦横 1.2 x 1.3 [mm], 2.5 x 1.3 [mm]となり、いずれも以前の研究で得られた値よりもやや大きくなっている。以前は、単純な直径 2 [cm] のワイヤフレームの円を表示していたが、今回の展示ではそれよりも大きなサイズの仮想物体を表示していたため、適切なドットのサイズも大きくなった可能性がある。

同様に、ドット密度についても、平均 59.3%と、以前の 50%と比較するとややドット部分の割合が多くなっている。これも、以前提示した仮想物体に比べて複雑な形状のものを提示したため、仮想物体の細部を観察するためにドット密度を高くし、実物体表面の割合を少なくしていた可能性がある。

3.5 仮想物体の視認性

提案手法では、ランダムドットマスクを仮想物体の前面に配置することで、仮想物体の奥行き知覚が向上する。しかし、マスクがあることによって、内部のオブジェクトの視認性は低下してしまう、展示中にも多数の体験者からこの問題が指摘された。このことから、我々はドットの透明

度を変化させた半透明ランダムドットマスクによって、視認性を向上させることを提案する。

4. 実験

4.1 実験概要

ランダムドットマスクを半透明にすることで、内部の仮想物体の視認性が向上すると予想されるが、透明度を過度に高くすると、奥行き知覚が低下すると考えられる。そこで、奥行き知覚を過度に低下させずに見易さを向上させることができる、マスクの適切な透明度に関して、評価実験に基づいて議論する。実験では、マスクを構成する肌色部分のドットの不透明度を様々に変化させ、「内部の仮想物体の見易さ」と「奥行き知覚の向上」との関係を調査した。被験者は裸眼、もしくは眼鏡等によって正常な視力を持つ筑波大学の大学生 8 名 (全員男性) であった。

4.2 刺激の作成と提示

全ての刺激は SIGGRAPH ASIA 2015 の展示で用いたラップトップ PC を用いて生成、提示した。各刺激はステレオ視可能なヘッドマウントディスプレイ Oculus Rift DK2 上に提示され、被験者は刺激を立体的に観察可能であった。また、Oculus Rift DK2 本体内部の赤外 LED と付属の赤外カメラによって、被験者の頭部動作に応じた移動視差の生成を可能とした。

実験で用いた刺激を図 11 に示す。本来 AR では、実物体に対して仮想物体を重畳するが、実験では単色 (肌色) で塗りつぶした面を配置し、これを「シミュレートされた実物体 (以降、肌色面)」とした。実物体と仮想物体によって実験を実施した場合、現実世界との位置合わせ精度や、実世界を取得するカメラの解像度などの要因も奥行き知覚に影響してしまう。本実験ではそうした不確定要素を排除し、マスクのデザインの影響のみを調べるため、この仮想の平面を用いて実験を行った。同様の手法は Rogan ら [13] の研究でも用いられている。

各刺激の提示時には、視点から 50 [cm] の位置を初期値として肌色面を配置した。

仮想物体には、壁の中の配線や皮膚の下の血管など、仮想物体が比較的微細で知覚しづらい状況を想定し、直径 2 [cm] の青色の円環 (以降、仮想円) を用いた。この仮想円を肌色面の手前 (被験者側)、あるいは背面に配置した。このとき、被験者が距離を判断する際に仮想物体の大きさを手掛かりにしないよう、距離によらず、見かけの大きさは常に一定とした。

ここではランダムドットマスクを肌色面に重ね、この領域をマスク領域と呼称した。仮想円が肌色面よりも奥にある時は、ランダムドットマスクのドット部分のみに描画することで、肌色面を透かして仮想円を見ているように知覚させる。この実験では、マスク領域の実物体 (肌色面) 部

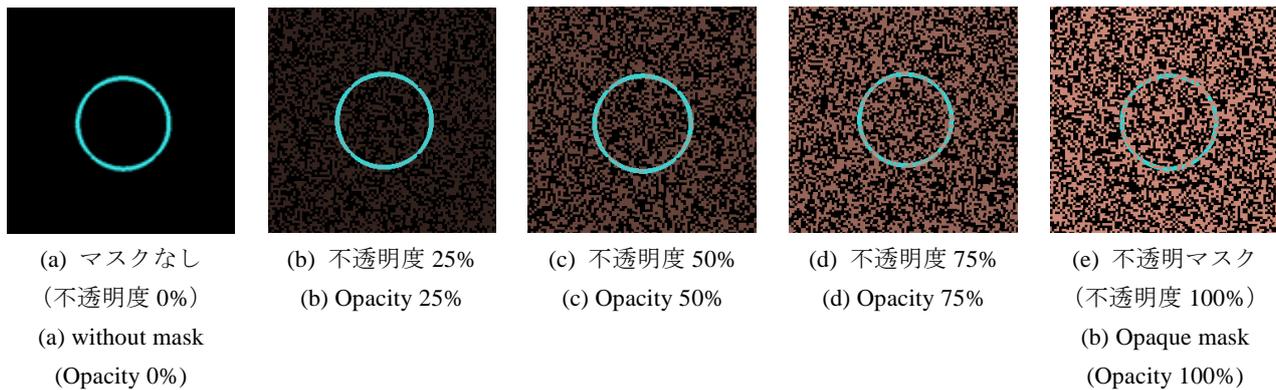


図 11 実験で用いた刺激
Figure 11 Stimuli in experiment.

分の不透明度を様々に変更し、仮想円の全体が見えている状態を不透明度 0%, 肌色部分が不透明で、部分的に仮想円が隠されている状態を不透明度 100%とした。マスクのドットサイズと密度は、前研究で最も奥行き知覚に最適だったドットサイズ 1/60, ドット密度 50%と同じになるように調整した。

マスク領域のサイズについては、視点を動かした際にマスクのエッジ部分と仮想円が重なってしまうと、その部分を手掛かりに距離を予測してしまうため、これを避けるために、仮想円のサイズに対して十分に大きくした。

4.3 実験 1 : 見易さの主観評価

4.3.1 実験目的と手順

この実験では、肌色部分の不透明度と、背面にある仮想円の見易さとの関係を主観的に評価することを目的とした。

実験では、全ての刺激において、仮想円は肌色面の背面、一定距離 (-0.02 [m]) に配置した。

実験では、肌色部分の不透明度が異なるマスク 3 種類(図 11 (b)-(d)) をランダムに提示し、各刺激に対して「見易さ」を主観評価尺度 (Visual Analog Scale: VAS) で回答させた。肌色部分の不透明度が異なるマスク 3 種類に対し、それぞれ 5 回繰り返し評価させるため、被験者 1 人あたりの試行回数は計 15 回であった。実験の開始時には、マスクなし (同図 (a)) と不透明マスク (同図 (e)) を用いた練習フェーズを設け、回答方法に慣れさせるとともに「最も見易い」場合 (マスクなし (同図 (a))) と「最も見づらい」場合 (不透明マスク (同図 (e))) を教示し、VAS を用いた回答の基準とした。

4.3.2 実験結果

得られた回答の平均と標準偏差を図 12 に示す。1 要因分散分析 (要因: 肌色部分の不透明度) によって、肌色部分の不透明度が異なる各マスクの間で、見易さの主観評価値に有意に差が見られ ($p<0.001$), 不透明度が増すごとに、奥側の仮想物体が見づらくなると評価された。

4.4 実験 2 : 奥行き知覚評価

4.4.1 実験目的と手順

この実験では、肌色部分の不透明度と、背面にある仮想円の奥行き知覚の精度との関係を定量的に評価することを目的とした。実験に際し我々は、ドットの不透明度が高いほど、奥行き手がかりが得られやすいため、奥行き知覚精度が高くなるという仮説を立てた。

実験では、肌色面の位置を 0 として被験者側を前面とし、前面 (-0.02, -0.01, -0.001) [m] もしくは背面 (+0.02, +0.01, +0.001) [m] の位置に仮想円を表示し、ドットの不透明度を変更したものを被験者に提示した。被験者には、各刺激に対して仮想円の位置を回答させた。各被験者の試行回数は、ドットの不透明度 5 種類×仮想円の距離 6 通り×3 回繰り返し=計 90 試行であった。この実験も、実験 1 と同様に、刺激の提示順序は被験者ごとにランダムとした。

4.4.2 実験結果

仮想円の位置ごとの奥行き知覚精度の結果を図 13 に、肌色部分のドットの不透明度ごとの奥行き知覚精度の結果を図 14 に示す。得られた回答について、2 要因分散分析 (要因: ドットの不透明度, 仮想円の位置) を行った結果、

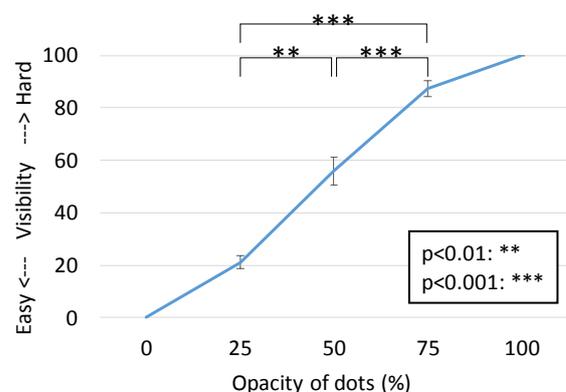


図 12 実験 1 結果: 肌色部分ドットの不透明度と見易さの関係

Figure 12 Result of experiment 1. Visibility score of each opacity of skin-colored dots of mask.

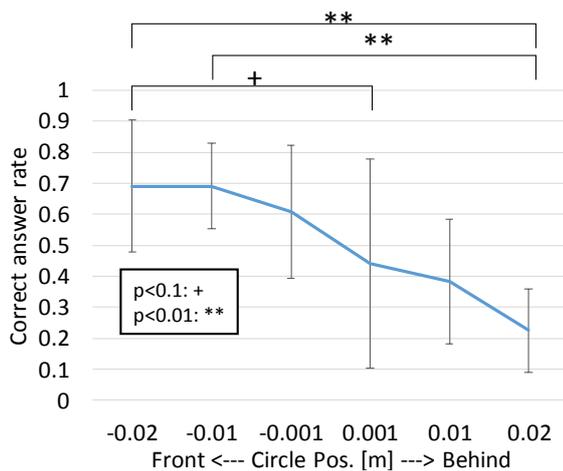


図 13 実験 2 結果：仮想円の位置ごとの奥行き知覚精度（正答率）

Figure 13 Results of experiment 2. Correct answer rate at each circle position.

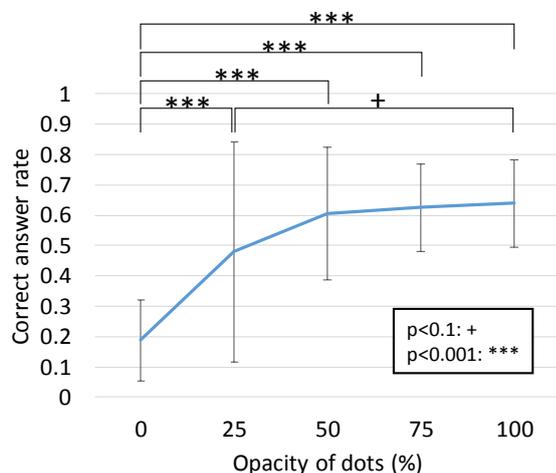


図 14 実験 2 結果：肌色部分のドットの不透明度ごとの奥行き知覚精度（正答率）

Figure 14 Results of experiment 2. Correct answer rate of each opacity of skin-colored dots of mask.

仮想円の提示位置 ($F(5, 20) = 4.521, p < 0.001$), ドットの不透明度 ($F(4, 20) = 6.971, p < 0.001$) とともに主効果が見られた。交互作用は見られなかった。

各位置において、Tukey HSD による多重比較を行った結果、位置 -0.02 [m] と 0.02 [m], -0.01 [m] と 0.02 [m] の間に有意差が見られ、背面、つまり被験者から遠ざかるほど有意に正答率が低下した。また、ドットの不透明度ごとに同様に多重比較を行った結果、不透明度 0 (マスクなし) とそれ以外の条件について、有意差が見られ、マスクなしに比べて、マスクがある場合に有意に正答率が高くなった。この結果より、我々の仮説「ドットの不透明度が高いほど、奥行き手がかりが得られやすいため、奥行き知覚精度が高くなる」という仮説は支持されなかった。

4.5 考察

実験 1 の結果より、ドットの不透明度と見易さの主観評価はほぼ比例することが分かった。一方、マスクを用いることで、仮説に反して、ドットの不透明度に関わらずほぼ同等の精度で奥行きが判定できることが分かった。これらの結果より、今回の実験条件では、内部の仮想物体の見易さと、奥行き知覚の精度を両立させるためには、より内部の物体が見やすい、ドット不透明度 25% のマスクを用いることが適していると言える。

一方で、ドット不透明度 25% と 50% の場合を比べると、25% の方が、標準偏差が大きくなっている。そのため、例えば、本稿で報告した技術展示のようなエンタテインメント目的のものであれば見易さを重視して、25% のマスクを、精度が重視される医療用アプリケーションであれば 50% のマスクを用いるなど、用途に応じた使い分けも考えられる。

5. まとめ

我々は、ステレオ立体視可能な AR 環境において前研究 [11][12] で提案した、ランダムドットマスクを用いて奥行き知覚を向上させる手法を用い、エンターテインメントアプリケーションを作成・展示した。展示では、体験者にマスクパラメータを自由に変更させ、適切なマスクパラメータを調査した。その結果、より奥に細かな動きをする仮想物体が配置されている場合は、ドット密度を高くし実物体表面を残す割合を減らす傾向が見られた。

次に、提案手法では、仮想物体をマスク越しに観察するため、内部の仮想物体の見易さが低下するという問題に対して、マスクのドットを半透明にすることで、見易さと奥行き知覚の向上の両立を目指した。本研究では、肌色部分のドットの不透明度と、見易さおよび奥行き知覚のトレードオフについて評価実験を行った。その結果、肌色部分の不透明度が 0%, 25%, 50%, 75%, 100% の場合に、見易さは線形に変化するのに対し、奥行き知覚精度には 0% とそれ以外の不透明度の場合の他は、有意差は見られなかった。

今後は、このマスクを用いた応用事例を増やすとともに、マスクのデザインについてより検討を深める。例えば、コンテンツに応じたマスクの透明度の自動調整機能や、ユーザが任意に調整できるインタフェースを実現することを予定している。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 26730108 の助成を受けたものです。SIGGRAPH ASIA 2015 の展示においては、女子美術大学の内山博子教授、上岡悠子氏、北井佑佳氏、神前真緒氏の多大な協力を得ました。

参考文献

- [1] Avery, B., Piekarski, W., and Thomas, B. H. Visualizing occluded physical objects in unfamiliar outdoor augmented reality environments. In Proc. ISMAR '07, pp. 285-286, 2007.
- [2] Bichlmeier, C., Wimmer, F., Heining, S. M., and Navab, N. Contextual anatomic mimesis hybrid in-situ visualization method for improving multi-sensory depth perception in medical augmented reality. In Proc. ISMAR '07, pp. 1-10, 2007.
- [3] Edwards, P.J., Johnson, L.G., Hawkes, D.J., Fenlon, M.R., Strong, A.J., and Gleeson, M.J. Clinical experience and perception in stereo augmented reality surgical navigation. In Proc. MIAR 2004, pp. 369-376, 2004.
- [4] Furmanski, C., Azuma, R., and Daily, M. Augmented-reality visualizations guided by cognition: Perceptual heuristics for combining visible and obscured information, In Proc. ISMAR '02, pp. 215-224, 2002.
- [5] Kalkofen, D., E. Mendez, and D. Schmalstieg. Interactive Focus and Context Visualization for Augmented Reality, In Proc. ISMAR '07, pp. 191-201, 2007.
- [6] Kruijff, E., Swan, J.E., Feiner, S. Perceptual issues in augmented reality revisited, In Proc. ISMAR 2010, pp. 3-12, 2010.
- [7] Kytö, M., Mäkinen, A., Häkkinen, J., and Oittinen, P. Improving relative depth judgments in augmented reality with auxiliary augmentations. ACM Trans. Appl. Percept. Vol. 10, No. 1, Article 6, 2013.
- [8] Lerotic, M., Chung, A. J., Mylonas, G., and Yang, G. pq-space based non-photorealistic rendering for augmented reality. In Proc. MICCAI'07, pp. 102-109, 2007.
- [9] Mendez, E., and Schmalstieg, D. Importance masks for revealing occluded objects in augmented reality. In Proc. VRST '09, pp. 247-248, 2009.
- [10] Nicolau, S., Soler, L., Mutter, D., and Marescaux, J. Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surgical Oncology*, 20 (3), pp. 189-201, 2011.
- [11] Otsuki, M. and Milgram, P. Psychophysical exploration of stereoscopic pseudo-transparency. In Proc. ISMAR 2013, pp. 283-284, 2013.
- [12] Otsuki, M., Kuzuoka, H., and Milgram, P. Analysis of depth perception with virtual mask in stereoscopic AR, In Proc. ICAT 2015, pp. 45-52, 2015.
- [13] Ragan, E., Wilkes, C., Bowman, D.A., Hollerer, T. Simulation of augmented reality systems in purely virtual environments, In Proc. IEEE VR 2009, pp. 287-288, 2009.
- [14] Schall, G., Mendez, E., Kruijff, E., Veas, E., Junghanns, S. Bernhard Reitingner, and Schmalstieg, D. Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization. *Personal Ubiquitous Comput.* vol. 13, no. 4, pp. 281-291, 2009.
- [15] Sielhorst, T., Bichlmeier, C., Heining, S.M., and Navab, N. Depth perception – A major issue in medical AR: Evaluation study by twenty surgeons. In Proc. MICCAI'06, pp. 364-372, 2006.
- [16] Swan II, J. E., Jones, A., Kolstad, E., Livingston, M.A., Smallman, H.S. Ego-centric depth judgments in optical, see-through augmented reality, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, vol. 13, no. 3, pp. 429-442, 2007.
- [17] Zollmann, S., Grasset, R., Reitmayr, G., and Langlotz, T. Image-based X-ray visualization techniques for spatial understanding in outdoor augmented reality. In Proc. OzCHI '14, pp. 194-203, 2014.
- [18] Zollmann, S., Kalkofen, D., Mendez, E., and Reitmayr, G. Image-based ghostings for single layer occlusions in augmented reality, In Proc. ISMAR 2010, pp.19-26, 2010.