

# ステレオ立体視環境でのランダムドットマスクを用いた 疑似透過知覚の実現

大槻 麻衣<sup>\*1</sup> Paul Milgram<sup>\*2</sup>

## Realization of Pseudo-Transparency using random dot mask in Stereoscopic environment

Mai Otsuki<sup>\*1</sup> and Paul Milgram<sup>\*2</sup>

**Abstract** - We report an experiment related to perceiving (virtual) objects in the vicinity of (real) surfaces when using stereoscopic augmented reality displays. In particular, our goal was to explore the effect of various visual surface features on both perception of object location and perception of surface transparency. Surface features were manipulated using random dot patterns on a simulated real object surface, by manipulating dot size, dot density, and whether or not objects placed behind the surface were partially occluded by the surface. In addition, we show some examples that the various mask are applied to real object.

**Keywords:** Human factors, stereoscopic augmented reality, pseudo-transparency, and visual perception

### 1. はじめに

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例として、手術支援システム [2][3][4][7][8][9] がある。こうしたシステムでは、人体内部にある腫瘍や重要な器官を仮想物体として現実の光景に重畳描画することで、現実であれば手前の物体に遮られて見えないはずの内部の物体を同時に観察できる。

ここで、da Vinci® Surgical System システムのような、ステレオカメラとステレオ立体視可能なディスプレイを備えたシステム (あるいはビデオスルー型 HMD やディスプレイを用いる場合も同様である) を用いる場合、両眼視差からは「仮想物体は実物体よりも奥にある」と知覚される (Stereo-Transparency; ステレオ透過) [1][12]。一方、遮蔽手がかりからは「実物体表面は不透明であり、連続しているため、そのままでは内部は見えないはずである。よって、見えている仮想物体は実物体よりも手前にある」とも知覚されてしまう [5]。そのため、2 つの知覚の間で矛盾が生じ、結果として仮想物体の奥行きが正しく知覚できない。

ここで、ランダムドットによって作成した仮想のマスクを実物体の上に重畳描画し、そのマスク越しに内部の仮想物体を観察することを考える。これによりあたかも「手前の物体がレース状になり、向こう側が透けて見える」ように知覚され (Pseudo-Transparency; 疑似透過) [1][11][12]、結果として、背面にある仮想物体の奥行き知覚が容易になる。

本研究では、ステレオ立体視環境において、このランダムドットマスクのデザインと、疑似透過知覚の関係を調査した。実験の詳細は文献 [13] に譲り、本稿では実験の概要と、いくつかの適用例を報告する。

### 2. 実験概要

#### 2.1 刺激の作成と提示

実験で用いた全ての刺激は Windows 7 Professional OS, Intel Core i5 2310 2.8 GHz CPU, 8G RAM, NVIDIA Quadro 600 を搭載した PC を用い、Visual C++ 2010 で実装したソフトウェアで作成した。各刺激は 23 インチ LCD ディスプレイ (ASUS VG236HE, 解像度 1920 x 1080, リフレッシュレート 120 Hz), NVIDIA 3D vision system, 3D Vision 2 glasses を用いて提示され、被験者は立体的に観察可能である。実験風景と、提示刺激の例を図 1 に示す。

実験では、Masking window におけるドットサイズ (Masking window の 1 辺を何分割したか)、ドット密度 (Masking window を占めるドットの割合) を様々に変更した。これらはいずれも独立の変数である。

また、仮想の円が Masking window の背後にある場合は「オクルージョンあり/なし」の 2 種類の描画方法を設定した。オクルージョンありの場合は、Masking window の Black dot の部分のみ仮想の円が見える。これは第 1 章で述べた疑似透過に相当し、レース状の実物体を透かし

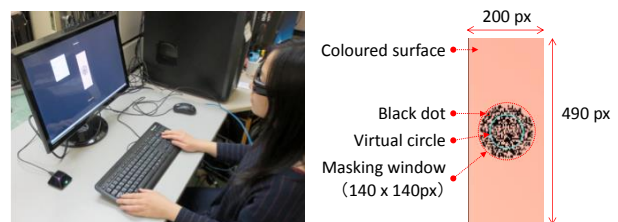


図 1 左: 実験風景, 右: 提示刺激の例

\*1: 筑波大学

\*2: University of Toronto

\*1: Tsukuba University

\*2: University of Toronto

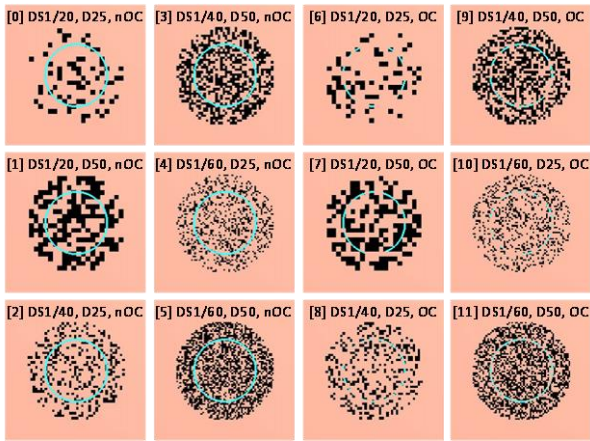


図 2 実験で用いた刺激 (DS: ドットサイズ, D: 密度, nOC/OC=オクルージョンなし/あり)

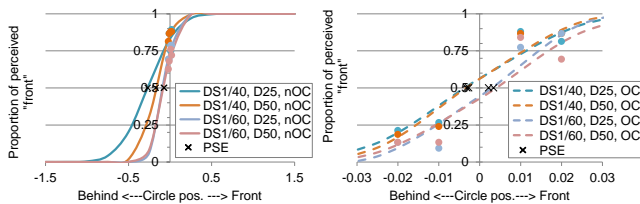


図 3 実験 1 結果. (左) オクルージョンなし, (右) あり (注: 左のグラフの横軸は右のグラフの横軸の 50 倍である)

て見ている状態である。一方、オクルージョンなしの場合は、仮想の円と実物体表面の前後関係を無視し、常に円の全体が見える。これはステレオ透過に相当する。仮想の円が Masking window の前面にある場合には、いずれのオクルージョン条件でも見え方は同じである。

## 2.2 被験者

被験者は裸眼、もしくは眼鏡によって正常な視力を持つ University of Toronto の 21 歳以上の大学院生 15 名 (男性 18 名, 女性 3 名) であった。また、実験開始時に NVIDIA 3D stereo vision test によって、システムで立体視ができていることを確認した。

## 2.3 実験手順

本実験は 2 つの実験からなる。実験 1 では、Masking window のデザインが奥行き弁別能力におよぼす影響について調査した。具体的には恒常法 [6] を用い、Masking window のデザインが JND (Just-noticeable difference: 丁度可知差異) に影響を及ぼすかどうかを比較した。

被験者には、Masking window に対して円を前面に配置した場合と背面に配置した場合をランダムに提示し、円が Masking window の前面にあるか背面にあるかを被験者に回答させた。

Masking window から円までの距離は前面 2 種 (+0.02, +0.01)、背面 2 種 (-0.02, -0.01) の計 4 種類とし、Masking window はドットサイズ 2 種 (1/40, 1/60) x ドット密度 2 種 (25%, 50%) x オクルージョン 2 種 (あり/なし) = 計 8 種類を用い、各刺激は 5 回ずつ提示した。実験 1 で用いた刺激は図 2 の 2-5, 8-11 に示す。なお、これらの値は予

備実験によって決定した。

実験では、事前に練習フェーズを設け、すべての被験者が刺激や回答方法を理解した後に実施した。各刺激の間には黒画面を 500 ms 表示し、前の刺激の影響を抑えた。

実験 2 では、サーストンの一対比較法 [10] を用いて Masking window のデザインが疑似透過知覚に及ぼす影響を尺度化した。この実験では、円は常に Masking window の背面、一定距離 (-0.1。この距離は予備実験によって決定した) に配置した。被験者は左右に並べて表示された刺激対を比較し、

- (1) 仮想の円が Masking window の背面にあることが知覚しやすい刺激はどちらか
- (2) Masking window がより透明に見える刺激はどちらかの 2 項目の質問に回答する。

実験では、Masking window はドットサイズ 3 種 (1/20, 1/40, 1/60) x ドット密度 2 種 (25%, 50%) x オクルージョン 2 種 (あり/なし) = 計 12 種類を用いた。被験者は全組み合わせについて判定を行うため、試行回数は  ${}_{12}C_2=66$  試行である。実験で用いた全刺激を図 2 に示す。

## 2.4 結果

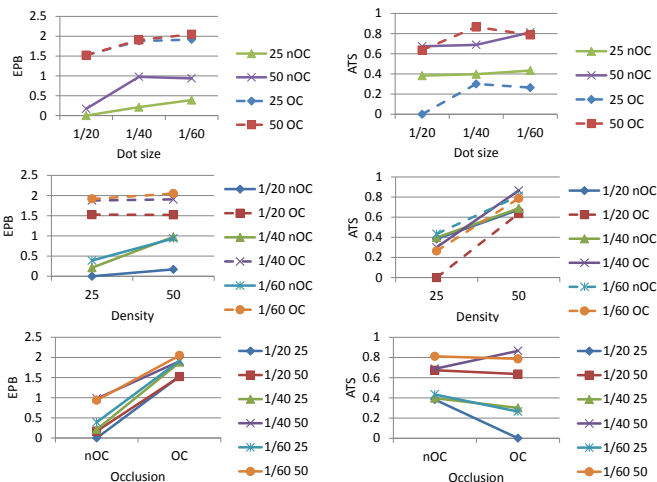
実験 1 で得られた回答に対し、正規補間法による推定を行い、PSE (Point of subjective equality: 主観的等価値) を算出した (図 3)。正しく前面/背面の判定ができている場合は、円の位置が 0 の時に「前面」と答えた割合が 0.5 になる (Point of objective equality (POE): 客観的等価値) はずである。

図中に×印にて PSE を示す。オクルージョンありとなしについては、なしの方が知覚バイアスが大きく、背面であると判定される傾向にあるのに対し、ありの方が明らかに POE と近い結果を得ている。このことから、オクルージョンありの方が確度の高い前後判定ができていると言える。

実験 2 で得られた回答より、(1) 仮想の円が Masking window の背面にあることの知覚しやすさ (Ease of perceive behind; EPB), (2) Masking window がより透明に見える度合い (Transparent scale; TS) を尺度化し、縦軸にとり、横軸をそれぞれドットサイズ、ドット密度、オクルージョンの有無とした場合の結果を図 4 に示す。いずれのグラフも、縦軸の値が大きいほど、各質問に対する被験者の同意が多く得られたことを意味している。

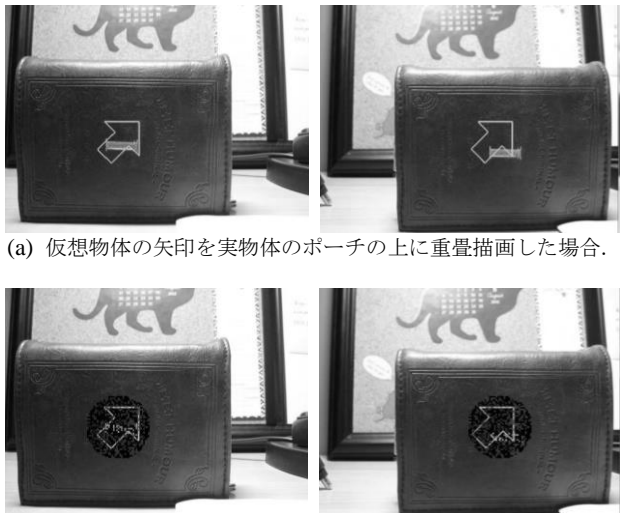
項目 (a) EPB については明確にオクルージョンありの方が背面にあると知覚しやすことが分かった。一方、項目 (b) TS についてはオクルージョンの有無にかかわらずドット密度が高い方がより透明であると知覚された。

これらの結果より、「背面にあるように知覚される」と「透明であると知覚される」ことは必ずしもイコールではないとわかった。例えば「ドットサイズ 1/20, ドット密度 25%, オクルージョンあり」の場合のように、仮想の円が背面に見えた場合でも、円の全容が把握でき



(a) 仮想の円が Masking window の背面にあることの知覚しやすさ (Ease of perceive behind; EPB) (b) Masking window がより透明に見える度合い (Transparent scale; TS)

図 4 実験 2 結果



(a) 仮想物体の矢印を実物体のポーチの上に重畳描画した場合.

(b) 提案手法によってランダムドットマスク越しに矢印が見えるように描画した場合.

図 5 ステレオ立体視可能な環境において、実物体のポーチの内側に仮想の矢印を配置し、重畳描画した例。この例では、交差法用に図を配置している (右目で左図、左目で右図を見る方式)。

ない場合は、Masking window 部分が透明であると知覚されにくい。

### 3. 適用例

図 5 に実物体のポーチの内部に仮想の矢印を配置し、そのまま重畳描画したステレオ画像の例と、ランダムドットマスクを用いた例を示す。

図 5 (a) では、1 章で述べた通り、両眼視差からは矢印がポーチの内側にあるように見えるが、ポーチ表面が均一な素材、かつ連続しているため、遮蔽手がかりからは、矢印はポーチより手前にあるようにも知覚され、知覚に矛盾が生じる場合がある。一方で、図 5 (b) ではランダムドットマスクにより、矢印はポーチ内部にあると知覚しやすくなっている。

図 7 に、別の実物体 (カゴ) に対し、ポーチの例と同

様に内部に仮想の矢印を配置し、実物体表面のランダムドットマスクのパラメータを様々に変更した例を示す。

### 4. むすび

本研究では、ステレオ立体視環境において実物体に仮想物体を重畳描画した時に両眼視差から生じる奥行き知覚と、オクルージョンによって生じる奥行き知覚の矛盾の低減について系統的な実験を行った。具体的には、ランダムドットマスクを実物体の上に重畳描画し、そのマスク越しに背面にある仮想物体を観察することで、その奥行き知覚が容易になるというステレオ疑似透過について、ランダムドットマスクのデザインと、疑似透過知覚の関係を調査し、実際の光景に適用した例を示した。

実験 1 では、実物体表面に対して前面/あるいは背面に配置した仮想物体に対して、心理物理学的実験を行い、オクルージョンなしの場合は精度・確度ともに低下することを確認した。実利用の観点から述べるならば「モニタベースのステレオ立体視が可能な AR システムでは、仮想物体が実物体の背面にあるときは実物体表面の一部のピクセルを仮想物体の上に描画する必要がある」と言える。しかしながら、これを実現するためには Kinect など、何らかの方法で実物体表面の深度情報をリアルタイムに取得する必要がある。

実験 2 では、サーストンの一対比較法を用いて、仮想物体の奥行き知覚の容易さ、および実物体表面の透明知覚の程度について評価した。実験結果は、予想されていた通り、仮想物体の奥行き知覚についてはオクルージョン手がかりの重要性を示し、また、表面の透明知覚についてはドット密度が重要であることを示した。

今後は、表面形状やテクスチャが異なる様々な実物体に対して本手法を適用し、ランダムドットマスクによる疑似透明知覚が起こり得る条件を定量的に評価することを検討している。また、図 6 に示すように、プロジェクションタイプの AR システムなど、異なるシステム構成での実装と検討を進めたいと考えている。

### 参考文献

- [1] R.A. Akerstrom *et al.* The perception of stereoscopic transparency. *Perception & Psychophysics*, 44(5), 421-432, 1988.
- [2] M. Bajura *et al.* Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient. *Computer Graphics*, 26(2), 203-210, 1992.
- [3] C. Bichlmeier *et al.* Contextual anatomic mimesis hybrid in-situ visualization method for improving multi-sensory depth perception in medical augmented reality. In *Proc. ISMAR '07*, 1-10, 2007.
- [4] P.J. Edwards *et al.* Clinical experience and perception in stereo augmented reality surgical navigation. In *Proc. MIAR 2004*, 369-376, 2004.
- [5] C. Furmanski *et al.* Augmented-reality visualizations guided by cognition: Perceptual heuristics for





図 7 ステレオ立体視可能な環境において実物体のカゴの内側に仮想の矢印を配置し、重畳描画した例。マスクのパラメータは実験で用いたものと同様である（この例でも、交差法用に図を配置している）。紙面の都合上、主要なもののみ抜粋した。

- combining visible and obscured information, In *Proc. ISMAR '02*, pp. 215-224, 2002.
- [6] G. Gescheider, *Psychophysics: The Fundamentals. 3rd Edition*. Erlbaum, 1997.
- [7] M. Lerotic *et al.* pq-space based non-photorealistic rendering for augmented reality. In *Proc. MICCAI'07*, 102-109, 2007.
- [8] S. Nicolau *et al.* Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surgical Oncology*, No. 20, Vol. 3, 189-201, 2011.
- [9] T. Sielhorst *et al.* Depth perception – A major issue in medical AR: Evaluation study by twenty surgeons. In *Proc. MICCAI 2006*, 364-372, 2006.
- [10] L.L. Thurstone. The method of paired comparisons for social values. *J. Abnormal & Social Psychology*, Vol. 21, 384 - 400, 1927.
- [11] I. Tsirlin *et al.* Stereoscopic transparency: Constraints on



図 6 プロジェクタとの併用。実物体表面へのマスクの描画が簡便に実現できる可能性がある

- the perception of multiple surfaces. *J. Vision* 8(5):5, 1-10, 2008.
- [12] I. Tsirlin *et al.* Perceptual artifacts in random-dot stereograms. *Perception*, 39, 349-355, 2010.
- [13] 大槻麻衣, P. Milgram. ステレオ立体視環境での疑似透過知覚に関する心理物理学的検討, 本シンポジウム, 2014.