



HMD を用いたメタバースにおける 視覚的擬似気配提示における提示形状の影響

Influence of Presentation Shape on Visual Pseudo Presence in the Metaverse Using HMD

木下 栞¹⁾, 舟橋 健司²⁾

Shiori KINOSHITA, Kenji FUNAHASHI

1) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, s.kinoshita.385@stn.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

概要: 当研究室では、メタバースにおいて HMD を用い、ユーザーの後方などにいる他者の気配を視覚的に提示する擬似気配提示手法を提案している。周辺視野に短時間だけ半透明のシルエットを提示することで、体験者に視覚提示として意識させることなく「何か」を感じさせられることが示唆されている。本研究では人型、楕円形、長方形を対象に提示シルエット形状の違いが気配の感じ方に与える影響を調査した。

キーワード: 気配, HMD, メタバース

1. はじめに

近年、メタバースやソーシャル VR の発展により、仮想空間内で他者とコミュニケーションや共同作業を行う機会が増加している。このような環境では、他者の存在や位置を自然に感じ取れることが、高い没入感や円滑なコミュニケーションの実現において重要である。一方で、メタバース体験で広く用いられる HMD (Head Mounted Display) は視野角が限定されており、利用者は視界外に存在する人物や物体の存在を把握できない。そのため、後方や側方から他者が接近していても気付かず、現実空間では無意識に得られている周辺情報が得られないという課題がある。メタバース環境では、システムが利用者や周囲の状況を把握しているため、他者の接近を音声や視覚的な通知によって伝達することは容易である。しかし、これらの手法は明示的な情報提示であり、利用者の注意を一方向的に引いてしまい、本来の作業やコミュニケーションへの集中を妨げる可能性がある。現実空間において人は、周辺視野に映るわずかな影や微かな物音などから、他者の存在を明確に認識することなく漠然と感じ取っている。このような「気配」を仮想空間内で提示することができれば、利用者の注意を過度に奪うことなく、周囲の状況を自然に把握できると考えられる。気配とは、明確に見えたり聞こえたりしないものの、周囲の状況から漠然と感じ取る様子を指す。気配の主な要因は、物や人の影による視覚情報、足音などの小さな音による聴覚情報、風や空気の動き、準静電界 [1] などによる触覚情報などによると考えられている。様々な気配の人工的な再現の試みが行われている。文献 [2] ではブラウン管テレビが発する準静電界を利用して体毛を刺激している。文献 [3] では他者などの接近音の 3D 音場を再現できる没入型

聴覚ディスプレイ「音響樽」を提案し、気配の提示を試みている。このような方法はバーチャルリアリティやメタバースへの導入も可能であり有効だろう。しかし、特別な機器や環境を必要とするため、家庭用のメタバース環境での導入は困難である。そこで当研究室では、特別な機器や環境を必要とせずに、視覚提示機能のみを利用して気配のような不確実な情報を提示する手法を提案している [4]。具体的には、視野外に人が現れた場合に、薄い人型のシルエットを短い時間だけ重畳表示する。体験者の意識下においては見えたと知覚されないような薄さ・短さにした上で、無意識に何かを感じ取れることを目指している。人間の視覚システムは形状・色・運動・奥行きを独立した経路で処理しており [5]、周辺視野では運動や存在の検知に対して敏感に反応し、無意識に情報を処理できる特性がある [6] [7]。さらに、周辺視野は自身にとって価値ある情報を優先的に処理する「知覚的鋭敏化」の効果も働くことが知られている [8]。そこで、体験者が意識下で知覚しないような薄いシルエットによる、周辺視野での無意識的な擬似気配の知覚を期待している。これまではシルエットを人型という視覚的に意味のある形状にしていた。しかし、シルエットの形状そのものが気配の知覚に影響を与える可能性もある。そこで本研究では、視覚的な擬似気配提示に用いるシルエットの形状に着目し、人型シルエットだけでなく単純な楕円形や長方形を対象に、シルエットの形状が擬似気配の知覚に与える影響を評価する。体験評価により、擬似気配提示におけるシルエット形状ごとの適切な提示時間や薄さ（透明度）などの特性を明らかにすることで、今後のより効率的効果的な気配提示につなげたい。

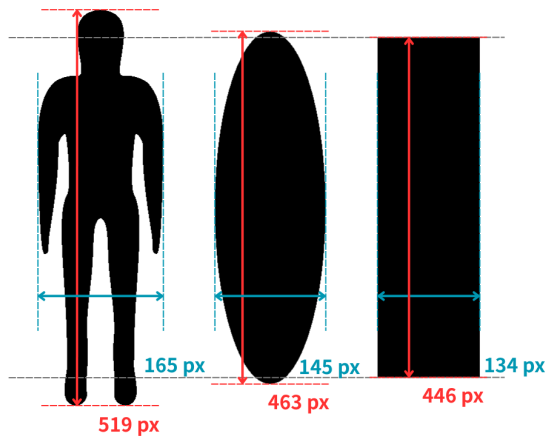


図 1: 3 種類のシルエット図形

2. 擬似気配提示のためのシルエット形状

擬似気配提示のためのシルエットとして、これまでの人型に加えて、楕円形、長方形を加えた 3 種類（図 1）を対象に比較検討する。図では黒色で形状を示しているが、次節の体験評価では白黒反転した白色のシルエットにおいて透明度を制御した上で提示する。なお、以下に述べる理由によりここで用いる人型シルエットは文献 [4] とは若干異なる。形状が異なることで「大きさ」に差が出てしまうと、形状ではなく大きさが影響してしまうだろう。そこで大きさを統一したいが、大きさとして高さと幅を揃えると、楕円形よりも長方形の面積が大きくなる。人型のように輪郭に凹凸の多い形状は、特に面積が小さくなる。面積に明らかな差が出てしまうと、やはり形状ではなく面積が影響してしまうかもしれない。しかし、面積を揃えると、長方形よりも楕円形は大きく感じられ、人型はさらに大きくなる。

そこでまず、図形が占有する領域を表す面積に注目する。長方形では実際の面積と図形が占有する領域を表す面積は同じであると考え、対して楕円形では、占有面積として包含矩形を考える。人型では凹部分も多いため占有面積として凸包を考える。その上で便宜的に、図形面積と占有面積の平均を代表面積とし、これらを揃えることにする。代表面積が同程度でも縦横比が異なると感じられる大きさが異なるため、占有図形（包含矩形、凸包）の縦横比も揃える。具体的な縦横比は当初の人型図形を参考に経験的におよそ 3 : 1 とした。人型図形は図形面積が 47891 px、凸包が縦横の長さがモニタ上で 519 px と 165 px（後述の通りモニタは片眼横 1800 × 縦 1920 px）、面積 70497 px、代表面積が 59194 px になるように調整した。楕円形は長軸と短軸は 463 px と 145 px、面積 52728 px とし、包含矩形が 67135px であり、代表面積が 59931 px になるように設定した。長方形図形の縦横サイズは 446 × 134 px とした。すなわち、長方形の図形面積と占有面積は 59764 px であり、それらの平均値としての代表面積も 59764 px である。これら 3 つのシルエット図形を対象に次節で比較評価する。



図 2: 体験の様子

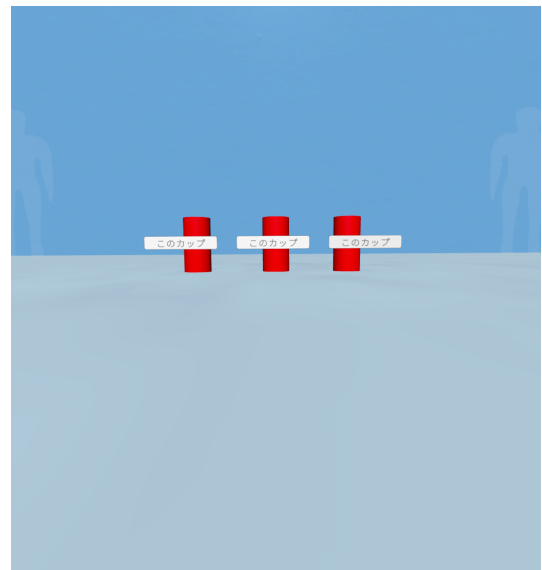


図 3: HMD を通して見る仮想空間内の様子（右目）

3. 評価

3.1 評価方法

文献 [4] と同等のシステムにおいて、前述の 3 つのシルエットに対してその濃淡（透明度）や表示時間を変化させながら提示することで、体験者に評価してもらった（図 2）。なお評価システムは Meta quest 2 を利用して Unity により構築した。シルエットは HMD の特徴を考慮して、正面から右、あるいは左に 40 度の位置に提示した（図 3、参考のため左右両方に人型シルエットを透明度 0.04 で表示）。シルエットの形状は人型、楕円形、長方形の 3 通りであり、シルエットの透明度 α は 0.01 から 0.04 まで 4 通りの値を 0.01 間隔で設定し（ $\alpha = 0$ は完全に透明、 $\alpha = 1$ は完全に不透明）、表示時間 t は 1 から 4 秒までの 4 通りの値を 1 秒間隔で設定して、合計 48 パターンを用意した。体験者 9 人それぞれに、48 パターンそれぞれ 1 試行ずつに加えてシルエットを何も表示しないパターンを 12 試行の、合計 60 試行を行ってもらった。すなわち表示なしパターンを除く各パターンは 9 試行ずつ評価され、各形状ごとに 144 試行、全試行数は 540 回だった。無表示パターンを含む各パター

ン（シルエット形状、透明度、提示時間）はランダムな順で提示した。シルエットの表示開始のタイミングを、試行開始後 3 秒から 6 秒の間でランダムに設定して、シルエット表示のタイミングが予測できないようにした。なお 1 試行が 10 秒で終了するように表示時間に応じて（表示時間が長い場合は表示タイミングがあまり遅くならないように）設定した。表示方向も左右ランダムであった。なお、評価時には体験者の周囲に人は一切おらず、実際の気配が影響することはなかった。また体験者には、視線方向だけでなく意識の上でもシルエットを探してしまうことのないように、ボールの入ったカップを見続ける「スリーシェルゲーム」をしてもらった。ゲームのカップは正面および± 10 度程度のあたりに位置していた。結果を整理するために、体験者の反応を以下のパターンに分けたい。気配提示を主目的としておりその方向は重視していないが、憶測による回答を防ぐことも考えて方向の正誤も考慮する。

M: 提示前に誤って気配を感じた (miss)

M': 提示をしていないが、気配を感じた

V: シルエット自体が見えた (visible)

N: 提示をしたが、気配は感じられなかった（シルエットも見えなかった）(not felt)

N': 提示をしておらず、気配を感じなかった

P: 気配の方向が正しかった（シルエットは見えず、気配を感じた）(presence)

F: 気配の方向が誤っていた（シルエットは見えず、気配を感じたが、方向は違った）(false)

各試行中、体験者に気配（のようなもの）を感じたら、その時点でボタンを押してもらった。各試行後、気配（のようなもの）を感じたか否か、感じなかった場合はシルエットが見えてしまったかどうか、感じた場合はその方向は左右どちらか報告してもらった。シルエット提示前にボタンを押した場合は M である。試行後にシルエットが見えたと報告した場合は V である。シルエット表示後にボタンを押した場合は P または F である。試行後にシルエットが見えなかったと報告して、ボタンを押していなかった場合は N、押したボタン（感じた気配）の方向が正しかった場合は P、誤っていた場合は F である。

3.2 結果と考察

図 4, 5, 6 にシルエット形状ごとに、各 α と t における V, N, P, F の反応数を示す。なおパラメータによらない M の反応数は全ての形状において 0 であった。また M', N' はシルエットもなく、各パラメータによらず、全体でそれぞれ 5 と 103 であった。シルエットにより擬似気配を感じてもらうためには、シルエット自体が意識的に見えてしまっただけでなく、一方で気配は感じられることが望ましい。そこで形状ごとの P と V 反応に着目する。人型の P 反応の総数は $P_{人} = 32$ であり、 $V_{人} = 41$, $P_{楕} = 39$, $V_{楕} = 35$, $P_{長} = 27$, $V_{長} = 34$ であった。気配の感じ易さは楕円形、人型、長方形の順であった。意識下で見えてしまう傾向は人型、楕円形、長方形の順であった。

一般化線形混合モデル (GLMM, 被験者ランダム切片入り) を適用し、説明変数である透明度 α および提示時間 t は平均 0, 標準偏差 1 に標準化して解析を行った。以下のオッズ比は、各変数が 1 標準偏差増加したときの効果を示す。人型では、透明度 α の増加により P のオッズは約 3.08 倍 ($p < 0.001$) であり、提示時間 t の効果はオッズ 1.08 ($p = 0.746$) であった。楕円形においても、 α は P のオッズを約 2.13 倍に増加させたが ($p = 0.001$)、 t の効果はオッズ 1.32 ($p = 0.192$) であった。長方形では、 α の増加により P のオッズは約 2.70 倍 ($p < 0.001$) であり、一方、 t のオッズは 1.26 ($p = 0.346$) であった。以上より、3 種類のシルエットすべてにおいて P の発生には提示時間よりも透明度の影響が大きいことが示された。また、人型で最も透明度の効果が大きく、次いで長方形、楕円形の順となった。同様に V の α , t によるオッズは、人型: 4.07, 1.51, 楕円形: 7.34, 1.93, 長方形: 4.74, 1.81 (いずれも $p < 0.001$) であった。同じく 3 種類のシルエットすべてにおいて V の発生には提示時間よりも透明度の影響が大きいことが示された。楕円形で最も透明度の効果が大きく、ついで人型、長方形の順となった。

各条件における P (気配を感じた) と V (シルエットが見えた) の数の差 $P - V$ (以下、 P_V) に着目した。 P_V が大きいほど、シルエットを視認することなく気配のみを感じさせる条件であり、擬似気配提示に有効であると考えられる。そこで、各形状について透明度 α と提示時間 t に対する P_V のヒートマップを示す (図 7)。図より、3 種類の形状すべてにおいて、低濃度 (α 小) から中濃度かつ短時間から中程度の提示時間において P_V が大きくなる領域が確認された。一方、濃度が高く (α 大) 提示時間が長い条件ではシルエットが視認されやすくなり、 P_V は小さくなる傾向がみられた。形状ごとに P_V の総和を比較すると、 $P_V_{楕} = 4$ であり、楕円形では比較的広い条件で P_V が高い値を示し、気配提示に適した条件の範囲が広がった。人型では $P_V_{人} = -9$ であり、長方形は $P_V_{長} = -7$ であり、 α , t に対する傾向は同様だが、範囲は狭くあまり高い値ではなかった。一方で、高濃度、長時間条件ではいずれの形状も P_V が低下しており、形状による違いよりも透明度および提示時間の影響が大きいことが示唆された。

また、 P_V の値に対して線形回帰を適用し、透明度 α および提示時間 t が擬似気配提示に与える影響を解析した。標準化回帰係数は、人型: $\beta_{\alpha} = -0.33$, $\beta_t = -0.36$, 楕円形: $\beta_{\alpha} = -0.73$, $\beta_t = -0.22$, 長方形: $\beta_{\alpha} = -0.40$, $\beta_t = -0.28$ であった。楕円形および長方形では、 β_{α} の絶対値が β_t を上回っており、 t よりも α の影響を強く受けることが示された。一方、人型では異なる傾向が見られ、影響は形状によって異なる可能性も示唆された。

擬似気配提示においては、人型のような意味を持つ形状でなく、単純な図形でも十分に気配を提示できる可能性が示された。また人型や長方形は楕円形に対して気配提示に適していないかもしれないと示唆された。人型は手足など

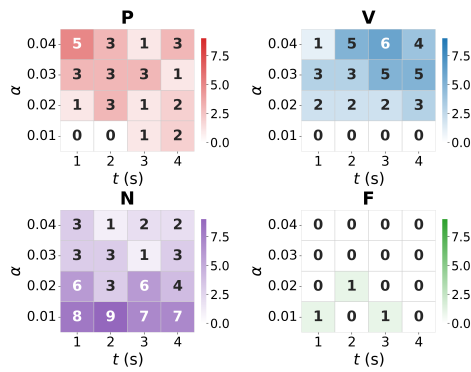


図 4: 各 α と t における V, N, P, F (人型)

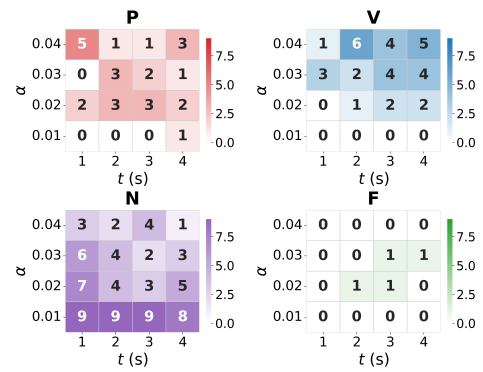


図 6: 各 α と t における V, N, P, F (長方形)

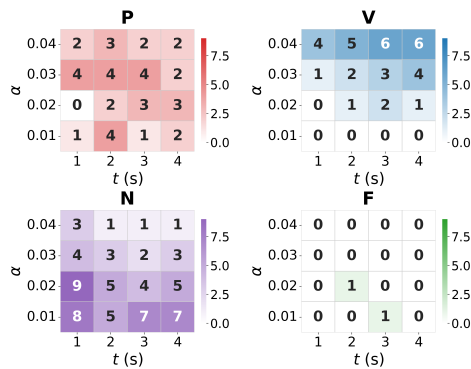


図 5: 各 α と t における V, N, P, F (楕円形)

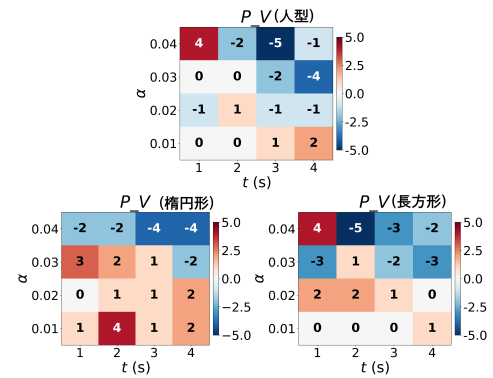


図 7: 各 α と t における P と V の数の差

に先端部を有し、長方形は角を有している。周辺視野では輪郭やエッジが比較的知覚されやすく、気配の知覚に影響を与えた可能性が考えられる。

4. むすび

本研究では、HMD を用いたメタバースにおける視覚的な擬似気配提示手法において、提示するシルエット形状の違いが、気配の知覚に与える影響を調査した。解析の結果、シルエットの形状によらず気配提示を実現できる可能性はあるが、一方で先端部や角のない形状の方が有効であることも示唆された。ただし体験者数や評価数自体が少数のため、今後は数を増やして結果の信頼性を高めさらに詳しく調べたい。また角の有無のみを独立に調査したわけではないため、三角形や角丸長方形など角の数や鋭さを制御した形状を用いた検証も必要である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP23K11182 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 滝口清昭, 遠山茂樹: “犬は主人を電界で見分ける?—歩行による人体の電界発生とその伝搬—”, 国際生命情報科学会誌, Vol.21(2), pp. 428–441, 2003.
- [2] K. Suzuki, K. Abe, H. Sato: “Proposal of perception method of existence of objects in 3d space using

quasi-electrostatic field”, In Proceedings of International Conference on Human-Computer Interaction, 2020.

- [3] 伊勢史郎: “聴覚的リアリティを実現する音のデザイン—ヒトとモノの動きがもたらすリアリティの本質—”, 日本音響学会誌, Vol.74(11), pp. 598–602, 2018.
- [4] 舟橋健司, 松野尾柚稀: “メタバースにおける HMD を通した視覚的な擬似気配の提示手法の提案”, 芸術科学会論文誌, Vol.24(5), pp. 16:1—16:10, 2025.
- [5] M. Livingstone and D. Hubel: “Segregation of Form, Color, Movement, and Depth: Anatomy, Physiology, and Perception”, In Proceedings of Science, Vol.240, No.4853, pp. 740–749, 1988.
- [6] S. P. McKee and K. Nakayama: “The Detection of Motion in the Peripheral Visual Field”, In Proceedings of Vision Research, Vol.24, No.1, pp. 25–32, 1984.
- [7] R. Hirano, K. Numasawa, Y. Yoshimura, T. Miyamoto, T. Kizuka and S. Ono: “The Effect of Eccentricity on Visual Motion Prediction in Peripheral Vision”, In Proceedings of Physiological Reports, Vol.11, No.22, e15877, 2023.
- [8] 大野直紀, 中村聡史: “周辺視野における知覚的鋭敏化の特性解明”, 情報処理学会研究報告, 2016.