

xR 環境に短時間のみ表示される視覚的な通知の提案

折居 篤^{1,a)} 芦沢 優介^{1,b)} 崔 明根^{2,c)} 志築 文太郎^{2,d)}

概要：我々は、xR（Extended Reality）環境において、視界をほとんど妨げない視覚的な通知手法を提案する。提案手法は、ユーザの視界に非常に短時間のみ視覚情報を表示することによって、視界を妨げず視覚的な通知を伝達する。また、提案手法は視覚情報の色および表示位置を組み合わせることにより、多様な種類の通知をユーザに伝達できる。本研究において我々は、ユーザが認識できる視覚情報の表示時間、およびユーザが識別可能な視覚情報の種類について調査を行った。その結果、ユーザは 1/90 秒のみの表示時間で視覚情報の表示を認識でき、かつ 4 色の色と 8 つの表示位置を組み合わせた 32 種類の視覚情報を識別できることが明らかになった。

1. はじめに

通知は、人々が一目で理解できる、タイムリーで価値の高い情報を提供する [1-3]。人々は日常的に電子メール、電話、および SNS などのアプリケーションから、多数の通知を受け取る [4,5]。従来、これらの通知はスマートフォン [6,7] およびデスクトップコンピュータ [5,8,9] 等のデバイス上に表示される。しかし、スマートグラスおよびヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display, 以下 HMD）などの発展と普及により、拡張現実感（Augmented Reality, 以下 AR）および仮想現実感（Virtual Reality, 以下 VR）等の xR 環境において新たな通知手法が研究されている。

xR 環境では視覚的な通知が多く用いられるが、通知が視界を遮る場合には不適切となることがある。たとえば、歩行中または運転中に視覚的な通知が視界を遮ると、衝突などのリスクを引き起こす可能性を高める。

また、音や触覚に基づく非視覚的な通知もしばしば利用される。しかし、音による通知は騒がしい環境では聞き逃されることがあり、また公共の場では社会的受容性に欠けることが多い。さらに、振動による通知は表現の種類が限られているため、多様な情報を伝達することには適していない [10]。

本研究では、ユーザの視界に非常に短時間のみ単純な視覚情報を表示する通知手法を提案する。提案手法で用いる

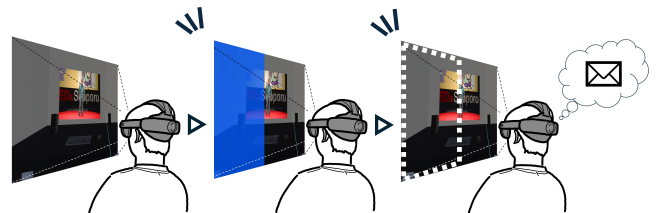


図 1 提案手法の概要図。提案手法は、ユーザの視界内に非常に短時間のみ単純な視覚情報を表示する通知手法である。

視覚情報は非常に短時間のみ表示されるため、ユーザの視界への干渉を最小限に抑えることができる。さらに、視覚情報の色や表示位置を変化させることにより、提案手法のみを利用して多様な通知内容を伝達可能である。たとえば、視界の左半分に青色の視覚情報を短時間表示することにより、「家族からのメールを受信した」ことをユーザに伝達できる（図 1）。

本研究は瞬間的に視覚情報を表示する提案手法が通知として機能するのか、および伝達可能な視覚情報の種類を調査することを目的とする。

第 1 実験では、ユーザが認識可能な提案手法の表示時間および不透明度を調査した。その結果、表示時間が 1/90 秒という非常に短い場合でも、提案手法の表示の発生を認識できることが確認された。また、不透明度が 75% の表示が好まれる傾向にあった。ユーザが識別可能な視覚情報の種類を調査するとともに、ユーザが他のタスクに集中している状態でも視覚情報に気づくことができるかを調査した。その結果、色および表示位置を組み合わせた 32 種類の視覚情報を、94.27% で識別可能であることが示された。

¹ 筑波大学 情報理工学位プログラム

² 筑波大学 システム情報系

a) orii@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) ashizawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

c) choi@cs.tsukuba.ac.jp

d) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

2. 関連研究

本章では、xR 環境における通知手法および、短時間に表示される視覚情報を人間が認識する能力について紹介する。

2.1 xR 環境における視覚的な通知手法

xR 技術は、デジタルコンテンツをユーザの物理的な環境へシームレスに統合することを可能にする。これまでに、歩行中 [11–13]、遠隔共同作業中 [14]、または対面での会話中 [15, 16] という xR 環境特有の状況における通知について、さまざまな研究が行われてきた。

xR 環境での視覚的な通知の表示は、ユーザの視界を遮る可能性があるため、視覚的遮蔽、注意の妨げおよび行動への干渉を引き起こす [16]。通知の表示方法および表示位置は、反応時間、認知率、注意散漫度、および侵入感に大きく影響することが報告されている [17]。これらの課題に対処するため、通知の表示位置の調整 [11, 18, 19] および、通知を最適なタイミングで表示する手法 [20] など、さまざまなアプローチが提案されている。たとえば、Shin ら [11] は、ビデオシースルー環境において、通知の不透明度および表示位置が歩行中の認知およびユーザの好みに与える影響を調査した。さらに、Chen ら [20] は、HMD のセンサデータとユーザの活動および関与状況を用いて、通知を表示する最適なタイミングを予測するディープラーニングモデルを開発した。一方、我々の知る限り、xR 環境において非常に短時間のみ視覚情報を表示する通知手法について、調査は行われていなかった。

2.2 短時間の視覚認識

人間の認知処理は、集中した注意を必要とせず、かつ無意識下で行われる。そのため、人間は極めて短時間の画像表示でも即座に分類を行うことができる。

Thorpe ら [21] は、人間がわずか 20 ミリ秒間のみ表示された画像を正確に分類できることを初めて示した。その後の研究においても、モニタ 1 回の更新間隔 (10~40 ミリ秒) だけで、高度なシーン分析に必要な情報を取得できることが確認されている [22–26]。

Lanfranco ら [27] は、画像認識に必要な最小表示時間を調査し、偶然よりも有意に高い認識性能を得るために必要な最短時間が 1.7 ミリ秒であることを明らかにした。同様に、Potter ら [28] は、連続して表示される同一の画像に約 13 ミリ秒間のみ別の画像を差し込んだ場合であっても、人間が認識可能であることを示した。

提案手法で用いる視覚情報の最短表示時間は、Unity のアップデート関数のフレームレートの 1/90 秒である。この表示時間は、Lanfranco らが報告した最小表示時間の 6 倍以上に相当する。しかし、このような瞬間的な視覚情報

をユーザが認識できるかは依然として不明である。

3. 実験 1

本実験では、ユーザが認識可能な提案手法の表示時間および不透明度を調査した。本実験において使用した視覚情報は、視界全体を覆う設計である。

3.1 装置および参加者

HMD として Meta Quest 3 およびそのコントローラ 1 つを用いた。HMD の可視視野角は水平方向に 110°、垂直方向に 96° である。本実験で使用したアプリケーションは、Unity (バージョン 2022.3.4f1) である。

実験参加者は、学内の研究室から募集した 10 名の男性 (平均年齢: 23.5 歳, 標準偏差: 1.0 歳, ID: P1–P10) であった。全員が正常な視力および正常な色覚を有していた。

3.2 実験デザイン

本実験では、参加者内実験を採用した。独立変数は以下の 3 つである。(図 2)

- 背景: オフィスルーム, リビングルーム
- 表示時間: 1/90 秒, 2/90 秒, 3/90 秒
- 不透明度: 100%, 75%, 50%, 25%

背景は、タスクが実施される背景環境を示す独立変数である。この独立変数は、背景が提案手法の認識率に与える影響を調査するために設定された。環境は Li らの研究 [29] において使用されたものと同じ Unity Asset Store のアセットを用いて構築された。オフィスルームは寒色系の照明、リビングルームは暖色系の照明で照らされていた (図 2a)。

表示時間は、提案手法の表示時間を示す独立変数である。Unity のアップデート関数は 90 Hz で動作するため、1/90 秒未満の表示は不可能である。そのため、表示可能な最小単位である 3 種類の表示時間を設定した。

不透明度は、提案手法の不透明度を示す独立変数である (図 2b)。完全に不透明な視覚情報は視界を遮るため、好みに影響を及ぼす可能性がある。一方で透明度の高い視覚情報は知覚されにくい可能性がある。ゆえに適切な提案手法の不透明度を調査することを目的としてこの指標を採用した。

背景の使用順はラテン方格法によりカウンタバランスを取った。各背景において、参加者は 3 セッションを実施した (4 色 × 3 つの表示時間 × 4 つの不透明度 = 48 試行)。使用した色は赤, 青, 黄, 水色であり, 48 試行の順序はランダムに表示された。1 人あたり合計 288 試行 (2 つの背景 × 3 セッション = 48 試行) を実施し, 10 名の参加者から合計 2,880 件のデータを収集した。

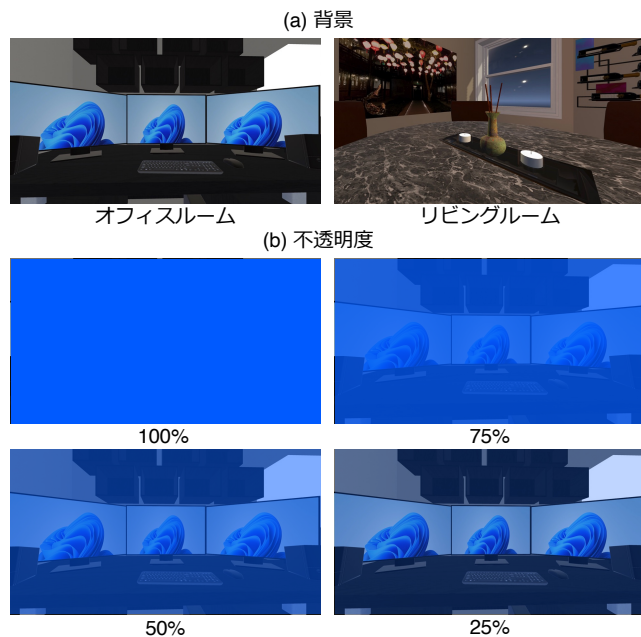


図2 実験1における独立変数.

3.3 手順とタスク

まず、実験参加者は着席した状態で、氏名、性別などの個人情報に関する質問票に回答した。その後、タスクの説明を受け、HMDを装着し、コントローラを手にとった。

タスクを開始すると、VR環境にオフィスルームまたはリビングルームの背景が表示され、実験参加者の正面に「トリガを押してタスクを開始してください」というテキストが表示された。実験参加者がトリガを押すとそのテキストが消え、その後2～5秒の間に視覚情報が表示された。視覚情報は視界全体を覆うものであり、参加者は視覚情報を認識した時点で即座にトリガを押すように指示された。視覚情報の表示後、次の視覚情報が2～5秒以内に表示された。この手順を48回繰り返すことを1セッションとし、1つの背景につき3セッションを実施した。各セッション終了後には、少なくとも1分間の休憩を設けた。

全セッション終了後、実験参加者に表示時間および不透明度に関する好みについてインタビューを行った。1回の実験の所要時間は約60分であった。

3.4 結果

本節では、提案手法の認識エラー率、実験参加者の好み、および実験参加者のコメントについて述べる。

3.4.1 認識エラー率

認識エラー率とは、視覚情報が認識されなかった試行の割合である。視覚情報の表示から1秒以内にトリガが押されなかった試行を視覚情報が認識されなかった試行としてカウントした。

認識エラー率の分析には、ノンパラメトリックな整列順位変換（ART）法 [30–32] を用いた後に、その後に3要因

（背景、表示時間、不透明度）の反復測定ANOVAを実施した。要因内の比較ではART-C [33] による事後検定を行い、多重比較に対してはHolmの補正 [34] を適用した。

その結果、表示時間 ($F_{2,2847} = 5.03, p < .01, \eta_p^2 = .004$) および不透明度 ($F_{3,2847} = 15.34, p < .01, \eta_p^2 = .016$) に有意な主効果が認められた。また、以下の交互作用も有意であった：背景 × 表示時間 ($F_{2,2847} = 26.48, p < .01, \eta_p^2 = .018$)、背景 × 不透明度 ($F_{3,2847} = 6.58, p < .01, \eta_p^2 = .007$)、表示時間 × 不透明度 ($F_{6,2847} = 6.00, p < .01, \eta_p^2 = .012$)、背景 × 表示時間 × 不透明度 ($F_{6,2847} = 14.04, p < .01, \eta_p^2 = .029$)。

図3に、表示時間および不透明度ごとの認識エラー率を示す。

3.4.2 参加者の好み

各表示時間（1/90秒、2/90秒、3/90秒）に対する平均順位は、それぞれ2.2（1位：4名、2位：0名、3位：6名）、1.6（1位：4名、2位：6名、3位：0名）、2.2（1位：2名、2位：4名、3位：4名）であった。ゆえに、表示時間2/90秒が最も好まれた。

各不透明度（100%、75%、50%、25%）に対する平均順位は、それぞれ2.5（1位：2名、2位：4名、3位：1名、4位：3名）、1.9（1位：4名、2位：3名、3位：3名、4位：0名）、2.4（1位：2名、2位：2名、3位：6名、4位：0名）、3.2（1位：2名、2位：1名、3位：0名、4位：7名）であった。ゆえに、不透明度75%が最も好まれた。

3.4.3 参加者のコメント

表示時間に関して、P2、P8、P9、P10は、表示時間の違いを明確に区別するのが困難であったと述べた。一方で、P3、P5、P6は、3/90秒の視覚情報は視野を遮るように感じられるため、好ましくないと回答した。P1、P3、P7は、1/90秒の視覚情報を確実に認識できるか不安を示したが、P4は「どの表示時間でも視覚情報を認識できたので、短くても問題なかった」と述べた。

不透明度については、P3、P5、P8、P10が、不透明度の違いを認識するのが難しかったと述べた。また、P2、P6、P9は、不透明度の高い視覚情報は視野を妨げると感じた一方、P6は不透明度の低すぎる視覚情報は見逃しやすいと懸念を示した。

3.5 まとめ

実験の結果、実験参加者は非常に短い時間の視覚情報の表示を高い精度で認識することができることがわかった。認識エラー率に対する分析の結果、表示時間が1/90sの時、最も低い認識エラー率を示した。また、表示時間が短すぎる場合（1/90秒）には視覚情報の視認が困難となる一方、長すぎる場合（3/90秒）には視野を妨げるという意見が複数の参加者から寄せられた。

不透明度に関しても同様に、100%では視界を覆うことでタスクへの干渉が懸念され、25%では視覚情報が見逃さ

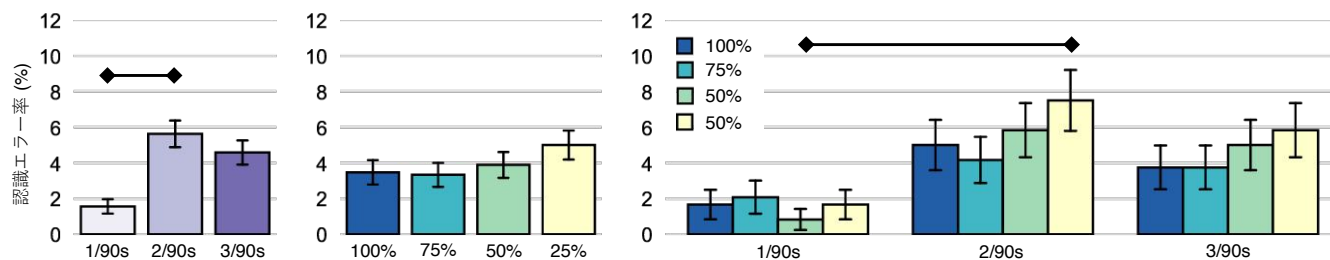


図 3 認識エラー率. エラーバーは標準誤差を示す. 統計的に有意な差がある場合は実線で示す ($p < .05$).

れやすいとの指摘が見られた. また, 75%の不透明度は視認性と視界の妨げのバランスが最も良いと評価された.

4. 実験 2

本実験では, ユーザが識別可能な視覚情報の種類を調査するとともに, ユーザが他のタスクに集中している状態でも視覚情報に気づくことができるかを調査した. 実験 1 の結果を基に, 提案手法の表示時間を認識エラー率が最も低かった 1/90 秒に, 不透明度は最も好まれた 75%に設定した.

実験参加者は学内の研究室から募集した 12 名 (男性 11 名, 女性 1 名, 平均年齢: 23.2 歳, 標準偏差: 1.2 歳, ID: P1-P12) であり, 全員が正常な視力および正常な色覚を有していた.

4.1 表示手法

提案手法の多様性を高めるために, 本実験では視覚情報の色および表示位置に着目した. 実験参加者が視覚情報の色および位置の両方を認識できれば, 色と位置の組合せによって提案手法の多様性を拡張できる. 本実験では, 色覚バリアフリーな色の組み合わせから 4 色 (赤, 青, 黄, 緑) を用いた.

視覚情報の表示手法は, 2 分割手法, 4 分割手法, 2+4 分割手法の 3 手法である (図 5a). 2 分割手法は, 視界を垂直または水平に 2 分割し, いずれかの半分に視覚情報を表示することで, 合計 4 つの表示位置を持つ. 4 分割手法では, 視界を 4 象限に分割し, いずれかの象限に視覚情報を表示することにより, 同様に 4 つの表示位置を持つ. 2+4 分割手法では, 2 分割手法と 4 分割手法を組み合わせた表示位置を用いることにより, 合計 8 つの表示位置を持つ.

4.2 タスク

本実験のタスクは, 並行して行われる主タスクおよび副タスクにより構成されている.

主タスク (図 5b) は, 計算タスクと映像視聴タスクの 2 種類である. 計算タスクでは, 現在表示されている数字から 17 を繰り返し引いていくように指示され, 初期値はおおよそ 1000 である. 映像視聴タスクでは, 正面に表示され

た TED Talk の映像を視聴する. 実験には 3 種類の TED Talk の動画を使用した *1*2*3.

副タスクでは, 視覚情報が表示された際にその色と位置を回答するように指示された.

4.3 実験計画

本実験では, 参加者内実験計画を採用し, 以下の 2 つの独立変数を採用した. (図 5)

- 表示方法: 2 分割手法, 4 分割手法, 2+4 分割手法
- タスク: 計算タスク, 映像視聴タスク

そのため, 実験参加者は表示方法およびタスクを組み合わせる 6 つの実験条件の実験を行った. 表示方法とタスクの使用順は独立にラテン方格法によってカウンタバランスを取った.

各条件において視覚情報が 8 回表示された. 2 分割手法および 4 分割手法では, 4 つの表示位置が 2 回ずつ使用された. 2+4 分割手法では 8 つの表示位置が 1 回ずつ使用された. 8 試行の順序はランダムであり, 各条件では 4 色の視覚情報が 2 回ずつ使用された. 同じ位置に同じ色が連続して表示されないように制御した.

1 人あたり 48 試行 (3 つの表示方法 $\times$ 2 つのタスク $\times$ 8 試行 = 48 試行) を実施し, 12 名の実験参加者から合計 576 件のデータを収集した.

4.4 手順

実験タスクを開始する前の手順は実験 1 と同様である. タスクが開始されると, 実験参加者の正面に「トリガを押してタスクを開始してください」というテキストが表示された. 実験参加者がトリガを押すとテキストが消え, 計算タスクでは計算用 UI が, 映像視聴タスクでは動画が正面に表示された. 実験参加者は主タスクを行いながら, 副タスクも同時に実施した.

視覚情報はテキストが消えてから 25~30 秒後に表示された. 実験参加者は視覚情報を認識した後にコントローラのトリガを押すよう指示されていた. トリガを押すと色と

*1 <https://youtu.be/b12CCnWzZbg?si=eaoNm4KGC5VxIvwq>

*2 <https://youtu.be/gBumd0WWMhY?si=uWZ7TC00NX5C1ZKk>

*3 <https://youtu.be/k9MbAFsFC0o?si=KBORZaFX2L-0X4V4>

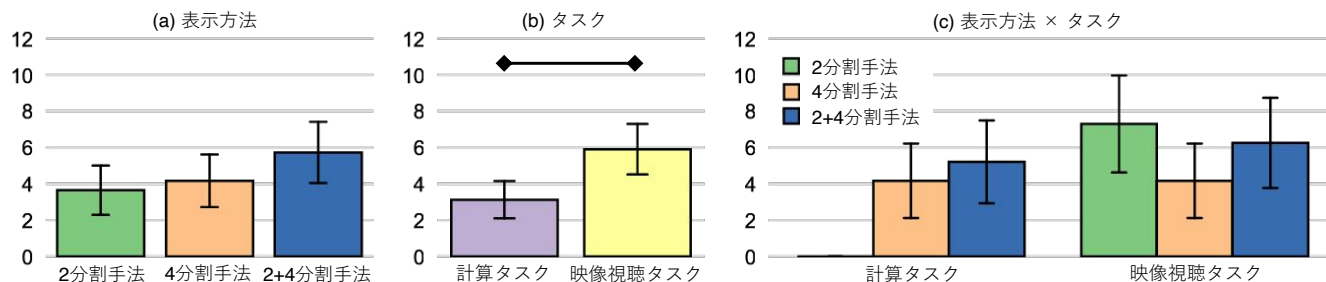


図 4 エラー率。エラーバーは標準誤差を示す。統計的に有意な差がある場合は実線で示す ($p < .05$)。

表 1 表示方法とタスクの組合せごとの認識エラー率、色エラー率、位置エラー率、およびエラー率。

表示方法	タスク	認識エラー率	色エラー率	位置エラー率	エラー率
2 分割	計算タスク	0.00% (0 / 96)	0.00% (0 / 96)	0.00% (0 / 96)	0.00% (0 / 96)
	映像視聴タスク	5.21% (5 / 96)	1.04% (1 / 96)	1.04% (1 / 96)	7.29% (7 / 96)
	合計	2.60% (5 / 192)	0.52% (1 / 192)	0.52% (1 / 192)	3.65% (7 / 192)
4 分割手法	計算タスク	1.04% (1 / 96)	1.04% (1 / 96)	2.08% (2 / 96)	4.17% (4 / 96)
	映像視聴タスク	2.08% (2 / 96)	2.08% (2 / 96)	0.00% (0 / 96)	4.17% (4 / 96)
	合計	1.56% (3 / 192)	1.56% (3 / 192)	1.04% (2 / 192)	4.17% (8 / 192)
2+4 分割手法	計算タスク	1.04% (1 / 96)	0.00% (0 / 96)	4.17% (4 / 96)	5.21% (5 / 96)
	映像視聴タスク	2.08% (2 / 96)	1.04% (1 / 96)	4.17% (4 / 96)	6.25% (6 / 96)
	合計	1.56% (3 / 192)	0.52% (1 / 192)	4.17% (8 / 192)	5.73% (11 / 192)

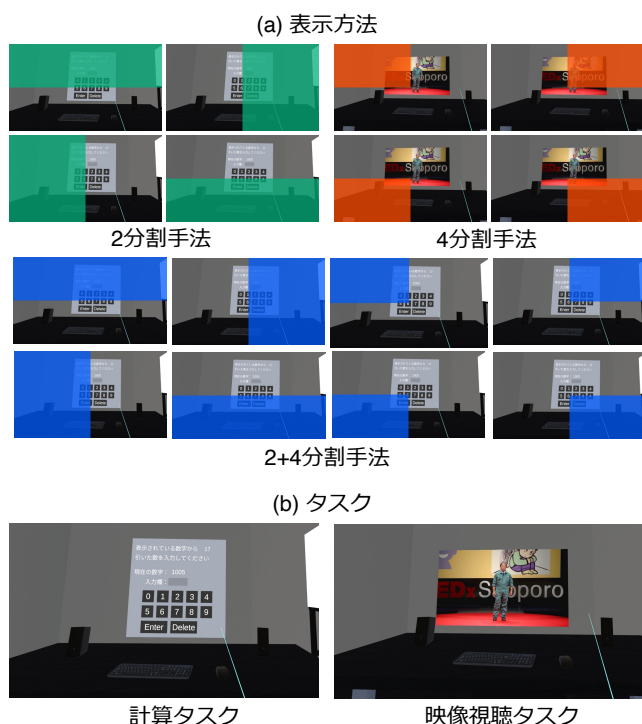


図 5 実験 2 における独立変数。

位置を回答するための回答用 UI が表示され、計算タスクでは計算 UI が、映像視聴タスクでは映像が一時的に非表示となった。

回答完了後、回答ボタンを押すと回答用 UI が消え、計算 UI または映像が再表示された。次の視覚情報は、前回

の視覚情報の表示から 25～30 秒後（回答時間は除く）に再び表示された。

実験参加者は 1 条件あたり 8 試行を行い、表示方法ごとにタスクを切り替えてた。すべての表示方法が完了した後、実験参加者には System Usability Scale (SUS) [35] への回答を求めた。表示方法ごとに少なくとも 1 分間の休憩を設けた。

全試行終了後、実験参加者は好みの表示方法を回答してもらい、その後インタビューに回答した。1 回の実験の所要時間は約 60 分であった。

4.5 結果

本節では、実験 2 により得られた、エラー率、SUS、参加者の好み、および参加者のコメントを述べる。

4.5.1 エラー率

エラー率は、視覚情報が認識されなかった試行、色の識別が誤っていた試行、または位置の識別が誤っていた試行を合わせた試行の割合として定義された。視覚情報の表示から次の視覚情報の表示までの間に色および位置の両方について回答がなかった場合の試行を視覚情報が認識されなかった試行としてカウントした。

エラー率の分析には ART 法を用い、表示方法およびタスクを要因とした 2 要因（表示方法、タスク）の反復測定 ANOVA を実施した。要因内の比較には ART-C を使用し、多重比較には Holm の補正を適用した。

各表示方法（2 分割手法、4 分割手法、2+4 分割手法）

におけるエラー率（低いほど良好）はそれぞれ 3.65%, 4.17%, 5.73%であった。タスクに有意な主効果が認められた ($F_{1,559} = 544.00, p < .01, \eta_p^2 = .493$)。エラー率を図 4 および表 1 に示す*4。

4.5.2 System Usability Scale (SUS)

各表示方法における SUS スコア（高いほど良好）は、2 分割が 81.46, 4 分割手法が 77.71, 2+4 分割手法が 72.30 であった。Friedman 検定の結果、表示方法間に有意差は認められなかった ($\chi^2_{2,N=12} = 1.09, p = .58$)。ゆえに、表示手法間にユーザの満足度の有意な差はなかった。

4.5.3 実験参加者の好み

各表示方法（2 分割手法、4 分割手法、2+4 分割手法）に対する平均順位は、それぞれ 2.1（1 位：4 名、2 位：3 名、3 位：5 名）、1.8（1 位：5 名、2 位：5 名、3 位：2 名）、2.2（1 位：3 名、2 位：4 名、3 位：5 名）であった。ゆえに、4 分割手法が最も好まれた。

4.5.4 実験参加者のコメント

表示方法に関して、実験参加者は概ね 4 分割手法、2 分割手法、2+4 分割手法の順に好む傾向が見られた。2 分割手法に対して、P3, P7, P11, P12 は視覚情報が大きく煩わしいと感じた一方、P3, P4, P6, P8, P12 は視覚情報が大きいため認識しやすいと評価した。

4 分割手法については、P3 と P4 が視覚情報が小さく気づきにくいと述べたが、P2, P4, P6, P7, P9 は視覚情報が小さいことで主タスクへの干渉が少ないと評価した。

2+4 分割手法については、P1, P3, P6, P7, P9 が視覚情報のバリエーションが多くて混乱すると述べた一方、P4, P8, P9, P10, P11 は視覚情報の多様性が高く好印象と答えた。

また、2 分割手法と 4 分割手法の区別がつきにくいと感じた実験参加者もいた。たとえば、P3 は「2 分割手法と 4 分割手法の違いはあまり分からない。4 分割手法で問題ないと思う」と述べ、P6 は「意外と 2 分割手法と 4 分割手法の違いはなかった」と述べた。さらに、P1, P3, P7, P11 は、上下よりも左右に表示される視覚情報の方が気づきやすいと回答しており、これは周辺視野における水平方向の視野角が垂直方向よりも広いという先行研究の知見 [36] と一致する可能性がある。

4.6 まとめ

エラー率の分析においては、表示方法ごとの差異は小さいものの、2+4 分割手法がやや高いエラー率を示し、複雑な視覚情報が認識精度に影響を及ぼす可能性が示唆された。一方で、タスクの種類による主効果は有意であり、タ

スク内容が及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

参加者の主観的評価においては、4 分割手法が最も好まれる傾向にあり、その理由として視覚情報の小ささによるタスクへの干渉の少なさが挙げられた。一方で、2 分割手法は視認性が高いとの肯定的意見、および視覚情報が大きく煩わしいという否定的意見が共存しており、使用文脈に応じたトレードオフが存在することが示唆された。2+4 分割手法は視覚情報の多様性に対する好意的な評価および混乱を招くとの懸念に評価が分かれた。

さらに、視覚情報の表示位置に関しては、水平方向の視覚情報が垂直方向よりも気づきやすいという意見が多数確認され、これは周辺視野における水平方向の視認性が高いという先行研究と一致する。

5. 考察

本研究では、ユーザの視界に非常に短時間のみ視覚情報を表示する通知手法を提案した。実験 1 では、視覚情報が認識されるための表示時間と不透明度を調査した。その結果、表示時間 1/90 秒、不透明度 50% という条件において、認識エラー率 1.23% という低い値で認識されることが示された。実験 2 では、色および表示位置を変化させることにより提案手法が伝達可能な視覚情報の種類を調査した。その結果、2+4 分割手法を用いることにより 32 種類の視覚情報が伝達可能となり、エラー率は 5.73% であった。これらの結果は、非常に短い表示時間であっても、視覚情報の表示、視覚情報の色、および視覚情報の表示位置を高い精度で認識できることを示している。

実験 1 および実験 2 の結果から、視覚情報が一部の試行で認識されなかった要因の一つとして、表示のタイミングと実験参加者のまばたきのタイミングが一致した可能性がある。この問題を解決するために、視覚情報を複数回表示する手法が有効と考えられる。

さらに、実験 2 では、計算タスクと比較して映像視聴タスク中に視覚情報の色に関する誤りが多く発生した。これは、映像内の色と視覚情報の色が混同されたことに起因すると考えられる。先行研究では、短時間表示された画像の認識は背景情報や画像の色特性に影響されることが示されており [37]、本研究でも同様の傾向が確認された。

本研究は、提案手法に関する初期的な検討であり、いくつかの限界を有する。第一に、提案手法が AR 環境やスマートグラスで有効に機能するかは明らかでない。第二に、視覚情報の最適な色や表示位置の検討は十分に行われていない。表示位置を 4 分割以上に増やすことで、より多くの視覚情報を伝達できる可能性がある。最後に、提案手法と他の非視覚的な通知手法との比較は行っていない。

今後の研究では、提案手法を他の通知手法と比較し、提案手法が特に有効となる利用場面や条件についてさらに検討を進める必要がある。

*4 認識エラー率は視覚情報が認識されなかった試行の割合、色エラー率は色の識別が誤っていた試行の割合、位置エラー率は位置の識別が誤っていた試行の割合、エラー率はこれらの試行の合計の割合を示す。

6. 結論

本研究では、ユーザの視界に非常に短時間のみ視覚情報を表示する通知手法を提案した。提案手法における適切な表示時間、不透明度、および識別可能な通知の種類について検証を行った。その結果、ユーザは32種類の非常に短い時間表示される視覚情報を高い精度で識別可能であることが示された。これらの知見は、xR環境における通知手法として、非常に短い時間の視覚情報の表示が有効であることを示唆している。今後の実験において、音および振動のような非視覚的な通知と比較して、提案手法が特に有効となる利用場面や条件についてさらに検討を進める必要がある。

参考文献

- [1] Cutrell, E., Czerwinski, M. and Horvitz, E.: Notification, Disruption, and Memory: Effects of Messaging Interruptions on Memory and Performance, *IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, (online), available from (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17478824>) (2001).
- [2] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Oasis: A Framework for Linking Notification Delivery to the Perceptual Structure of Goal-Directed Tasks, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Vol. 17, No. 4, pp. 15:1–15:28 (online), DOI: 10.1145/1879831.1879833 (2011).
- [3] Pielot, M., Vradi, A. and Park, S.: Dismissed!: A Detailed Exploration of How Mobile Phone Users Handle Push Notifications, *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3:1–3:11 (online), DOI: 10.1145/3229434.3229445 (2018).
- [4] Pielot, M., Church, K. and de Oliveira, R.: An In-Situ Study of Mobile Phone Notifications, *Proceedings of the 16th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 233–242 (online), DOI: 10.1145/2628363.2628364 (2014).
- [5] Müller, P., Staal, S., Bâce, M. and Bulling, A.: Designing for Noticeability: Understanding the Impact of Visual Importance on Desktop Notifications, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 472:1–472:13 (online), DOI: 10.1145/3491102.3501954 (2022).
- [6] Ho, J. and Intille, S. S.: Using Context-Aware Computing to Reduce the Perceived Burden of Interruptions from Mobile Devices, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '05, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 909–918 (online), DOI: 10.1145/1054972.1055100 (2005).
- [7] Kushlev, K., Proulx, J. and Dunn, E. W.: "Silence Your Phones": Smartphone Notifications Increase Inattention and Hyperactivity Symptoms, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1011–1020 (online), DOI: 10.1145/2858036.2858359 (2016).
- [8] Tasse, D., Ankolekar, A. and Hailpern, J.: Getting Users' Attention in Web Apps in Likable, Minimally Annoying Ways, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3324–3334 (online), DOI: 10.1145/2858036.2858174 (2016).
- [9] Iqbal, S. T. and Horvitz, E.: Notifications and Awareness: A Field Study of Alert Usage and Preferences, *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, CSCW '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 27–30 (online), DOI: 10.1145/1718918.1718926 (2010).
- [10] Song, S., Noh, G., Yoo, J., Oakley, I., Cho, J. and Bianchi, A.: Hot & tight: exploring thermo and squeeze cues recognition on wrist wearables, *Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 39–42 (online), DOI: 10.1145/2802083.2802092 (2015).
- [11] Shin, H. and Park, J.: Evaluation of Interface Design for Video See-Through Head-Mounted Display: Focusing on Walking Users, *Archives of Design Research*, Vol. 37, No. 1, pp. 181–191 (online), DOI: 10.15187/adr.2024.02.37.1.181 (2024).
- [12] Ghosh, S., Winston, L., Panchal, N., Kimura-Thollander, P., Hotnig, J., Cheong, D., Reyes, G. and Abowd, G. D.: NotifiVR: Exploring Interruptions and Notifications in Virtual Reality, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE Educational Activities Department, Vol. 24, No. 4, pp. 1447–1456 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2018.2793698 (2018).
- [13] Costanza, E., Inverso, S. A., Pavlov, E., Allen, R. and Maes, P.: eye-q: Eyeglass Peripheral Display for Subtle Intimate Notifications, *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '06, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 211–218 (online), DOI: 10.1145/1152215.1152261 (2006).
- [14] Cidota, M., Lukosch, S., Datcu, D. and Lukosch, H.: Workspace Awareness in Collaborative AR using HMDs: A User Study Comparing Audio and Visual Notifications, *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, AH '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3:1–3:8 (online), DOI: 10.1145/2875194.2875204 (2016).
- [15] Janaka, N., Haigh, C., Kim, H., Zhang, S. and Zhao, S.: Paracentral and near-peripheral visualizations: Towards attention-maintaining secondary information presentation on OHMDs during in-person social interactions, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 551:1–551:14 (online), DOI: 10.1145/3491102.3502127 (2022).
- [16] Rzayev, R., Korbely, S., Maul, M., Schark, A., Schwind, V. and Henze, N.: Effects of Position and Alignment of Notifications on AR Glasses during Social Interaction, *Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Shaping Experiences, Shaping Society*, NordiCHI '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 30:1–30:11 (online),

- DOI: 10.1145/3419249.3420095 (2020).
- [17] Rzayev, R., Mayer, S., Krauter, C. and Henze, N.: Notification in VR: The Effect of Notification Placement, Task and Environment, *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '19*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 199–211 (online), DOI: 10.1145/3311350.3347190 (2019).
- [18] Plabst, L., Oberdörfer, S., Ortega, F. R. and Niebling, F.: Push the Red Button: Comparing Notification Placement with Augmented and Non-Augmented Tasks in AR, *Proceedings of the 2022 ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '22*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3565970.3567701 (2022).
- [19] Lee, H. and Woo, W.: Exploring the Effects of Augmented Reality Notification Type and Placement in AR HMD while Walking, *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 519–529 (online), DOI: 10.1109/VR55154.2023.00067 (2023).
- [20] Chen, K.-W., Chang, Y.-J. and Chan, L.: Predicting Opportune Moments to Deliver Notifications in Virtual Reality, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '22*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3491102.3517529 (2022).
- [21] Thorpe, S. J., Fize, D. and Marlot, C.: Speed of Processing in the Human Visual System, *Nature, Nature Research*, Vol. 381, pp. 520–522 (online), available from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:4303570> (1996).
- [22] Kaplan, S.: Environmental Preference in a Knowledge-Seeking, Knowledge-Using Organism, *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, New York, NY, USA, pp. 581–598 (1992).
- [23] Joubert, O. R., Rousselet, G. A., Fize, D. and Fabre-Thorpe, M.: Processing scene context: Fast categorization and object interference, *Vision Research, Elsevier B.V.*, Vol. 47, No. 26, pp. 3286–3297 (online), DOI: 10.1016/j.visres.2007.09.013 (2007).
- [24] Grill-Spector, K. and Kanwisher, N.: Visual Recognition – As Soon as You Know It Is There, You Know What It Is, *Psychological Science, Association for Psychological Science*, Vol. 16, No. 2, pp. 152–160 (online), DOI: 10.1111/j.0956-7976.2005.00796.x (2005).
- [25] Rousselet, G., Joubert, O. and Fabre-Thorpe, M.: How long to get to the “gist” of real-world natural scenes?, *Visual Cognition, Routledge*, Vol. 12, No. 6, pp. 852–877 (online), DOI: 10.1080/1350628044000553 (2005).
- [26] Greene, M. R. and Oliva, A.: The Briefest of Glances: The Time Course of Natural Scene Understanding, *Psychological Science*, Vol. 20, No. 4, pp. 464–472 (online), DOI: 10.1111/j.1467-9280.2009.02316.x (2009). PMID: 19399976.
- [27] Lanfranco, R. C., Canales-Johnson, A., Rabagliati, H., Cleeremans, A. and Carmel, D.: Minimal exposure durations reveal visual processing priorities for different stimulus attributes, *Nature Communications, Nature Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 8523:1–8523:13 (online), DOI: 10.1038/s41467-024-52778-5 (2024).
- [28] Potter, M. C., Wyble, B., Haggmann, C. E. and McCourt, E. S.: Detecting meaning in RSVP at 13 ms per picture, *Attention, Perception, & Psychophysics, the Psychonomic Society*, Vol. 76, No. 2, pp. 270–279 (online), DOI: 10.3758/s13414-013-0605-z (2014).
- [29] Li, Z., Cheng, Y. F., Yan, Y. and Lindlbauer, D.: Predicting the Noticeability of Dynamic Virtual Elements in Virtual Reality, *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '24*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 954:1–954:17 (online), DOI: 10.1145/3613904.3642399 (2024).
- [30] Higgins, J. J. and Tashtoush, S.: An Aligned Rank Transform Test for Interaction, *Nonlinear World*, Vol. 1, No. 2, pp. 201–211 (1994).
- [31] Salter, K. C. and Fawcett, R. F.: The ART test of interaction: a robust and powerful rank test of interaction in factorial models, *Communications in Statistics – Simulation and Computation, Taylor & Francis*, Vol. 22, No. 1, pp. 137–153 (online), DOI: 10.1080/03610919308813085 (1993).
- [32] Wobbrock, J. O., Findlater, L., Gergle, D. and Higgins, J. J.: The Aligned Rank Transform for Non-parametric Factorial Analyses Using Only Anova Procedures, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 143–146 (online), DOI: 10.1145/1978942.1978963 (2011).
- [33] Elkin, L. A., Kay, M., Higgins, J. J. and Wobbrock, J. O.: An Aligned Rank Transform Procedure for Multifactor Contrast Tests, *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '21*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 754–768 (online), DOI: 10.1145/3472749.3474784 (2021).
- [34] Holm, S.: A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure, *Scandinavian Journal of Statistics, John Wiley Sons*, Vol. 6, No. 2, pp. 65–70 (1979).
- [35] Brooke, J.: SUS: A quick and dirty usability scale, *Usability Evaluation in Industry, CRC Press*, Vol. 189, pp. 189–194 (1995).
- [36] Jones, J. A., Swan II, J. E. and Bolas, M.: Peripheral stimulation and its effect on perceived spatial scale in virtual environments, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 701–710 (2013).
- [37] Oliva, A. and Schyns, P. G.: Diagnostic Colors Mediate Scene Recognition, *Cognitive Psychology, Elsevier B.V.*, Vol. 41, No. 2, pp. 176–210 (online), DOI: <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0728> (2000).