

HMD-VR における POI に基づいた通知の動的配置方法

川久保 空真* 高橋 治輝* 松村 耕平*

概要. VR は高い没入体験を提供する一方で、ユーザは現実世界の重要情報から切り離されやすい。従来の通知手法では表示位置が HMD 画面上やコントローラーなどに固定されており、ユーザの視線や作業対象との関係を考慮できないため、重要な通知を見逃したり、逆に作業を妨げたりする問題があった。著者らの先行研究では、アイトラッキングを用いてユーザの視線分布を 360 度ヒートマップとして取得し、視線集中度の異なる領域に通知を提示する手法を提案した。しかしこの方式では、通知が意味のない背景領域に置かれたり、タスクに重要なオブジェクトを覆ってしまう場合があるなどの課題が残された。そこで本研究では、シーン内のタスク関連オブジェクト (POI) を基準とし、POI ごとに視線集中度を推定したうえで、その周囲における最適な位置を選択して通知を提示する手法を提案する。これにより、通知はユーザの関心対象の近くで自然に表示され、タスクを妨げることなく重要情報の見逃しを防ぐことが期待される。

1 はじめに

近年、VR は多様な分野で利用が進み、高い没入感を提供する技術として普及している。一方で、その没入感ゆえにユーザは現実世界の出来事や重要情報から切り離されやすい。Pielot と Rello の研究結果によると、長時間の VR 体験では外部からの通知を求める傾向が強まることが報告されており [3]、没入感を損なわずに必要な情報を適切に提示する通知設計が重要な課題となっている。

VR や AR における通知提示については、直感的で使いやすいインターフェースデザインが重要視されている。Raikwar らは AR 調理シミュレーションにおいて、通知の表示位置とモダリティがタスク遂行に与える影響を調査した [4]。その結果、対象オブジェクトの上方に視覚通知を提示し、局所的な音声を組み合わせる手法が最も高いパフォーマンスと主観評価を示した。このことから、ユーザの注目対象近傍に通知を提示することが、注意の誘導やタスク効率向上に有効であることが示唆されている。

また、VR 空間においては、視線追跡を用いた動的な通知配置手法も注目されている [1]。著者らの先行研究では、ユーザの視線をリアルタイムに取得し、360 度ヒートマップ上で視線集中度を解析して通知を配置する方式を提案した [2]。この方式は、特定のアプリやタスクに依存せずに「注目されやすい領域」と「されにくい領域」を区別できるため、重要な通知を見逃しにくくしつつ不要な通知による干渉を軽減できるという利点を持つ。

しかし、ヒートマップ座標のみを基準とする方式には限界がある。通知が意味的に重要性の低い背景

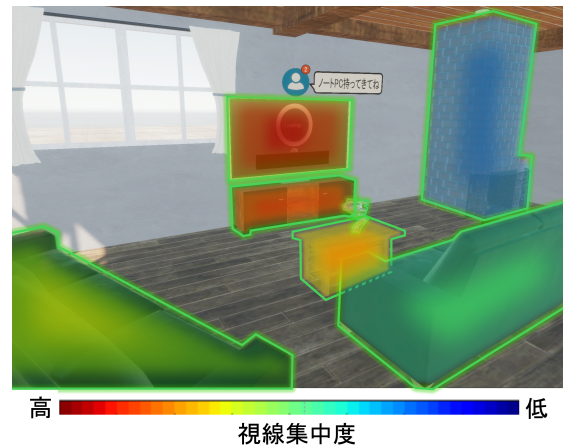


図 1. 提案システムのイメージ。POI(緑の枠線) ごとの視線集中度を計測し、最も視線が集中している POI の周囲に通知が配置される。緑枠内の色は視線集中度の色を表している。

領域に置かれてしまう場合があり、たとえば、壁や床のようにユーザのタスクと無関係な領域に通知が表示され、結果として見逃されることがある。また、通知がタスク達成に必要なオブジェクトや UI を覆ってしまいタスク遂行を妨げる恐れがある。こうした問題は、複雑な環境や動的なオブジェクトを含むシーンで特に顕著である。

本研究では、これらの課題を解決するために、視線データとシーン内の重要オブジェクト (Point of Interest; POI) を基準とした通知配置手法を提案する。提案手法では、図 1 の緑線で囲まれたオブジェクトのように、シーン中のタスク関連オブジェクトを POI として定義し、最も視線集中度の高い POI の周囲に通知を表示する。通知を配置するのに最適な POI が決まると、ユーザの視線ベクトルと整合

する POI 周囲の候補位置を評価して通知を動的に配置する．図 1 では，中央奥のテレビに最も視線が集中していることから，その周囲に通知が表示されている．これにより，通知はユーザの関心対象の近くで表示されつつ，タスクを妨害せず，重要情報を見逃しにくい通知提示が可能となる．

2 提案システム

2.1 実装環境

本通知システムでは，ユーザの視線を計測する必要があるため，アイトラッキング機能を備えた HMD Varjo Aero を使用し，実装には Unity を用いた．

2.2 POI 定義と視線集中度の推定

本研究では，VR 空間内のタスクに関連し，ユーザの行動上意味的に重要なオブジェクトを POI とする．現段階では，Unity 上で手動による POI のラベル付けを行い，ユーザがタスク中に視線を向ける可能性が高い，または操作・注視の対象となる意味的に重要な物体を対象とした．POI の例として，図 1 に示すテレビやソファ，机などが挙げられる．各 POI i には時刻 t での視線集中度を示すスコア $S_i(t)$ を割り当て，前時刻のスコアを減衰係数 λ で減衰させつつ，視線情報に基づく重み付け項を加算して更新する (式 1)．

$$S_i(t) = \lambda S_i(t-1) + w_{\text{vis}}(i) w_{\text{ang}}(i) w_{\text{geo}}(i) \quad (1)$$

ここで， w_{vis} は遮蔽物の有無による POI の可視性， w_{ang} は POI に対する視線角度， w_{geo} は距離やサイズなどに基づく重みを表す．これにより，視線が POI 中心に近く，視野内で見やすい位置にあるほどスコアが高くなるよう設計した．また，特定の POI を長時間注視した場合にスコアが過度に上昇しないよう，直近 30 秒間の視線情報のみを反映し，それ以前のデータは加算対象外とした．この制約により，スコアは一定時間内の注視傾向を動的に反映しつつ，視線対象の切り替えに応じて滑らかに変化するようにになっている．

2.3 通知表示位置の決定

通知は，視野範囲内で最も視線集中度の高い POI の近傍に表示される．本研究では，通知を POI の周囲に配置することで，ユーザが注目している対象に近接しつつも，対象そのものを覆わない提示を可能にした．表示位置の決定は，候補位置 (スロット) の生成とその評価という二段階から成る．

まず，図 2 に示すように，ユーザの現在の視点から見た POI の輪郭に沿って，POI の中心を基準に 30 度の等角度間隔で複数のスロットを生成する．これにより，POI が複雑な形状であっても，見えている外周に沿った位置を候補とすることが可能である．

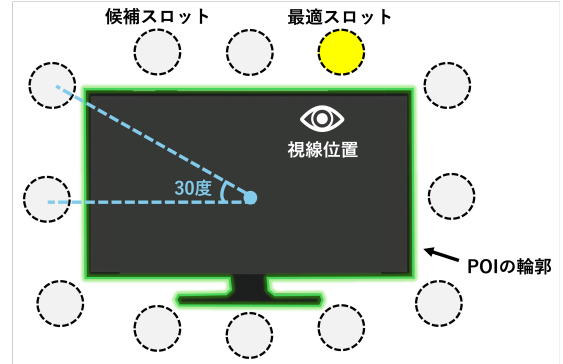


図 2. POI の周囲に候補位置 (スロット) を複数生成し，通知配置に最適なスロットを選択している様子．図の例では，視線に最も近いスロットを選択．

次に，各スロットを評価し，最適な位置を決定する．本研究では，ユーザの視線方向に近い位置ほど高く評価する．また，通知が POI 本体や他の POI，あるいはタスク遂行に必要な UI などを覆う場合は，視認性を妨げるものとして評価を下げる．これらの評価を総合してスコア化し，最も高いスコアを得たスロットが最終的な通知表示位置として選択される．

2.4 通知の再配置

通知は，選定された POI 周囲の最適スロットに配置され，ワールド座標上に固定される．そのため，ユーザが頭部や体を動かしても，基本的には通知は空間内の同じ位置に留まり，通知が視界内を不必要に移動することによる違和感や注意分散が抑制される．一方で，ユーザの移動などで通知が視野範囲外へ出た場合，あるいは POI 本体と重なって視認性が低下した場合には，再配置を行う．再配置の判定は毎フレーム (約 0.02 秒) ごとに行い，最新の視野情報に基づいて再評価される．具体的には，現在の視野内にある POI 群のうち最も視線集中度が高いものを再選定し，その周囲のスロット群から最も高スコアのスロットに通知を移動させる．これにより，通知は不要に視界内を動き回ることなく，ユーザの注意や環境変化に応じて動的に最適化される．

3 議論および今後の課題

本研究は，VR 環境において POI を基準とした通知配置手法を提案し，先行手法で生じていた背景領域への誤配置や対象物の重畳を軽減できる可能性を示した．しかし，本手法は POI 周辺の視線集中傾向のみに基づいて通知位置を決定しており，ユーザの意図やタスクの進行状況を考慮していない．また，現状は POI の設定は手動であり，動的な VR 環境では自動化が望まれる．今後は，タスク文脈に応じた表示タイミングの最適化や POI 抽出の自動化を進め，より実用的かつ包括的な通知設計を目指す．

参考文献

- [1] C. Ilo, S. DiVerdi, and D. Bowman. Goldilocks Zoning: Evaluating a Gaze-Aware Approach to Task-Agnostic VR Notification Placement. In *Proceedings of the 2024 ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '24*, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [2] K. Kawakubo, H. Takahashi, and K. Matsumura. Dynamic notification placement based on gaze concentration in HMD-VR. *Entertainment Computing*, 55:100993, 2025.
- [3] M. Pielot and L. Rello. Productive, anxious, lonely: 24 hours without push notifications. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '17*, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [4] A. Raikwar, L. Plabst, A. U. Batmaz, F. Niebling, and F. R. Ortega. Ping! Your Food is Ready: Comparing Different Notification Techniques in 3D AR Cooking Environment. In *2024 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 1157–1166, 2024.