

MR 読書における頭部回転に応じたウィンドウ位置操作手法

清水 尚弥^{†1} 藤田 和之^{†1} 高嶋 和毅^{†2} 北村 喜文^{†1}

概要: 近年の Mixed Reality (MR) デバイスの普及により, MR 空間内でテキスト情報を閲覧する(読書)機会が増加している. MR 空間ではコンテンツを任意の位置に配置できるため, 適切にコンテンツの位置を変化させることで, 読書に必要な頭部回転の負担を減らせる可能性がある. そこで本研究では, ユーザ頭部のヨー回転にあわせて, バーチャルウィンドウ位置を頭部回転とは反対方向に移動させることで, 横書きの文章の読書に必要な左右への頭部移動量を削減するインタラクション手法を提案する. 本研究では特に, 頭部回転量に対して一定の割合(ゲイン)でウィンドウを回転させるプロトタイプを実装し, パイロットスタディによりゲインの大きさがユーザの主観的な読書体験に与える影響を調査した.

1. 序論

近年, Meta Quest や Apple Vision Pro をはじめとする MR (Mixed Reality) デバイスが普及しつつあり, モバイルワークやリモートワークへの応用が活発に検討されている. これに伴い, MR 空間内で Web ページ, 電子書籍, メールのようなテキスト情報を読む(以下, 読書と呼ぶ)機会は増えている. このため, MR 空間内での読書に適したバーチャルウィンドウの形状 [1] や位置 [2], サイズ [3] が検討され, その設計ガイドラインが明らかになりつつある.

加えて, MR 環境では, 従来のデスクトップコンピューティング環境とは異なり, コンテンツを空間中に自由に配置できるという利点がある [4]. その反面, コンテンツの配置が適切でない場合, ユーザが頭部や視線を大きく動かさなければならず, 身体的負担が高まってしまう. このため, ユーザの位置・姿勢や注目対象に応じてバーチャルウィンドウをインタラクティブに配置する方法について, 様々な検討が進められてきた.

中でも McGill らは, ユーザの頭部のヨー回転に応じてバーチャルウィンドウの位置を(見ようとしているコンテンツが近づくように)少しずつ移動させることで, 必要な頭部回転量を軽減する手法を提案している [5]. ユーザスタディの結果, この手法は実際に複数ウィンドウ間の注視対象の遷移に必要な頭部移動量を軽減できたことが報告されている. しかし, 読書時のように特定の 1 つのウィンドウを注視しているときの頭部移動を考慮したウィンドウ動作についてはまだ検討例がない. ユーザがウィンドウ上のテキスト情報を読み進める際にも, 頭部のヨー方向の回転

(または視線移動)が絶えず生じるため, McGill らのアイデアが読書時にも適用可能であると考えられる.

そこで本研究では, MR 空間での読書において, 頭部のヨー方向に応じて水平方向に回転するウィンドウ位置操作手法の有効性を検証する. 本手法では, ユーザが MR 空間に表示されたウィンドウ上のテキストを読んでいる際, ユーザの頭部回転に応じて, ウィンドウを頭部回転向きとは反対向きに移動させる. これにより, ユーザは従来よりも少ない頭部移動でテキストを読み進めることができ, 結果として少ない身体的負担での読書体験を実現すると期待される. パイロットスタディでは, VR 空間内での読書タスクを行い, 頭部回転量を調整するパラメータについて, 使用時の酔いや不快感の許容範囲を調査した. 本稿では, 本手法の実装およびパイロットスタディについて述べる.

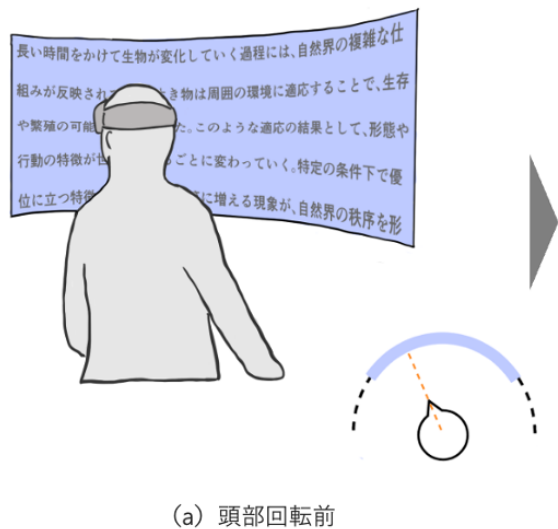
2. 頭部回転に応じたウィンドウ位置操作手法

2.1 概要

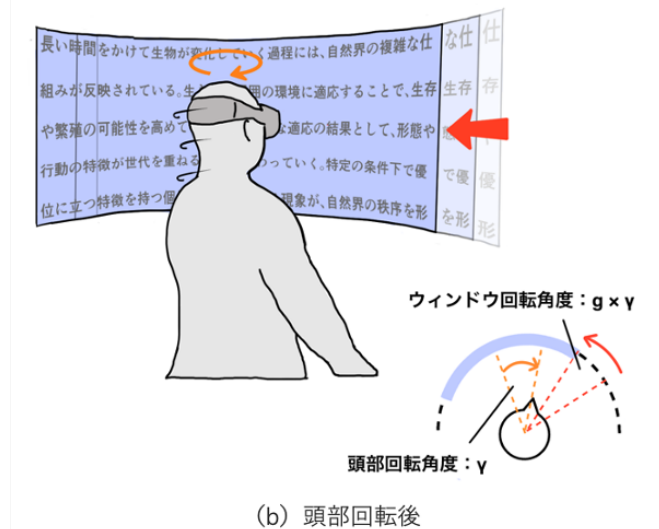
本手法のシステム概要を図 1 に示す. 本手法は, ユーザの頭部のヨー回転に応じて, その回転とは逆向きに一定倍率でバーチャルウィンドウを移動させる. 例えば, 読書中のある時点において, ユーザが表示されたテキストを読み進めようと頭部を時計回りに一定量回転させた際(図 1 (a)), バーチャルウィンドウは頭部を回転軸の中心とした円周上を, 特定倍率をかけた量だけ反時計回りに回転する(図 1 (b)). このようなウィンドウの位置操作を読書中に常に適用させることにより, ウィンドウ位置が固定されている場合に比べて頭部回転の負担を軽減できると期待される.

^{†1} 東北大学 電気通信研究所

^{†2} 芝浦工業大学



(a) 頭部回転前



(b) 頭部回転後

図 1 システム概要

2.2 アルゴリズム

本手法では、ユーザの頭部回転量に対するウィンドウの回転量の倍率を示すパラメータとして、ゲイン g を次の式で定義する。

$$g = \frac{\text{回転後の頭部に対するウィンドウの相対角度}}{\text{頭部回転角度}}$$

$g = 1.0$ の場合は、頭部回転によらずウィンドウが空間に固定された状態である。 g の値が大きくなるほど頭部回転に対するウィンドウの回転量が大きくなり、ユーザは実質的に少ない頭部回転量で注視点を移動することができる。

2.3 実装

MR デバイスとして Meta Quest Pro を用い、制御用 PC (i7-13700KF@3.40GHz, 32GBRAM, NVIDIA GeForce RTX4080 Ti) と USB3.2 で接続して使用した。Unity2021.3.28f1 を用いて実験環境を構築した。

実装した読書インターフェースの概観を図 2 に示す。MR 空間内に表示するウィンドウやテキストに関するパラメータは、先行研究で示されたガイドライン [2][3][6] を参考に、テキストサイズは 1 文字の高さが視角で約 1.3° 、ユーザとウィンドウとの距離を 2.7m、テキストを白色、ウィンドウを青色とした。ウィンドウの形状は、鉛直軸を中心とした円柱に長方形を貼り付けたような曲面形状とした。

3. パイロットスタディ

3.1 概要

本手法のユーザ体験を簡易的に調べるためのパイロットスタディを実施した。本手法は、ゲインの値を大きくするほど頭部負荷の軽減が期待される一方で、酔いや不快感を引き起こす可能性がある。このため、当研究室の学生 5 名 (男性 4 名と女性 1 名、平均年齢: 22.6 (SD = 1.02)) に実



図 2 読書インターフェース概観

際に本手法を用いた MR 読書を体験してもらい、読書時の主観的な不快感や読書インターフェースとしての許容度を調べた。

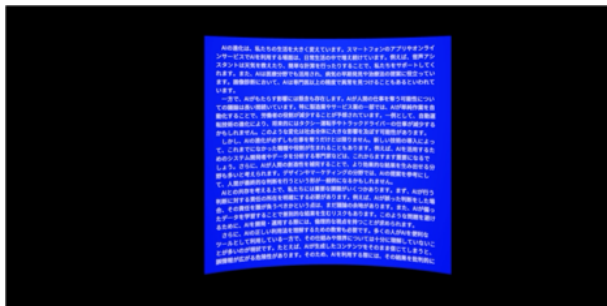
3.2 実験計画

本実験では、ゲインとウィンドウ幅を独立変数とした。ゲインに加えてウィンドウ幅を変数としたのは、我々の予備検討から、ウィンドウの幅が大きい場合に本手法の負荷軽減効果がより大きくなることが予想されたからである。比較するゲイン条件として、Weber-Fechner の法則に基づき、人間の知覚刺激が等間隔 (2 倍) になるように設定した 5 つの値 (1.0 倍, 2.0 倍, 4.0 倍, 8.0 倍, 16.0 倍) を採用した。また、ウィンドウ幅条件は、水平視野角において 45° , 90° の 2 段階とし、それに伴い、ウィンドウ内に表示されるテキスト量がある程度等しくなるように垂直視野角を設定し、(水平視野角, 垂直視野角) = (45° , 40°) (図 3 (a)), (90° , 20°) (図 3 (b)) の 2 条件とした。

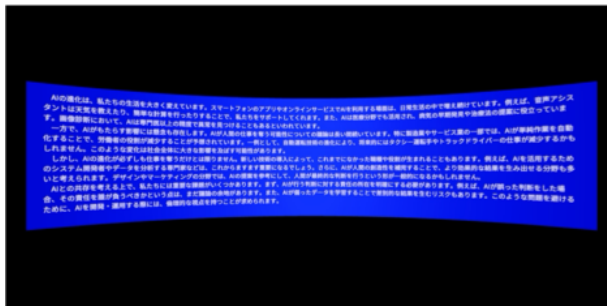
測定項目は、「不快感」と「許容性」の 2 項目である。アンケート内容は、不快感:「ウィンドウの動作に関して、読書中に酔いや目まいなどの不快感を覚えた」と、許容性:

「このウィンドウの動作であれば、日常的に使用することを許容できる」である。これらの質問に対し、7段階のリッカート尺度（1:「全く同意できない」、7:「非常に同意できる」）で回答してもらった。

提示する文章の素材は、OpenAI の大規模言語モデル (LLM) である GPT-4o^{*1}を用いて生成した。文字数を約 900 文字、ジャンルを「自然科学」、「工学」、「人文学」、「社会科学」のいずれかとし、計 10 種類の文章を作成した。これらの文章について、日本語文章の難易度を判定するシステムである jReadability^{*2}により難易度を推定すると、いずれも「上級前半」であり、文章素材間の難易度の偏りは少ないと考えられた。



(a) ウィンドウ幅 45° 条件



(b) ウィンドウ幅 90° 条件

図 3 各ウィンドウ幅条件

3.3 手順

はじめに、参加者は椅子に座り、実験の流れについて説明を受けた。その後、HMD 装着の準備としてレンズの瞳孔間距離を調整した。

実験では、参加者には、提示された一方のウィンドウ幅条件のもとで、5つのゲイン条件に対して読書とアンケート回答の試行を行った。各ゲイン条件で、参加者は HMD を装着し、VR 空間内のウィンドウ全面に表示された文章を読んだ。ゲイン条件を提示する際には、参加者にゲインの具体的な値は伝えず、試行ごとに異なるゲインであることのみ説明した。文章を読み終えた後は HMD を外し、Google Form を用いてアンケートに回答した。全てのゲイ

ン条件の試行が終了した後、もう一方のウィンドウ幅条件に切り替え、同様の手順を実施した。ウィンドウ幅条件およびゲイン条件の提示順序は、参加者間でカウンターバランスをとった。最後に、インタビューを通して、実験全体の印象や条件間の差異についてコメントをもらった。実験時間は 1 人あたり約 30 分であった。

3.4 結果

以下では参加者を P1-P5 として識別する。本実験では、統計的な検定を実施するために十分な参加者数を確保できなかったことから、以下では得られた平均値のみを報告する。

図 4 (a) は、各ウィンドウ幅条件におけるゲイン条件ごとの酔いや不快感について、参加者 5 名の平均スコアのグラフを示している。グラフの「×」印は平均スコアを示しており、スコアが高いほどユーザへの酔いや不快感の影響が大きいことを表す。不快感のスコアは、ゲインが大きくなるにつれて増加する傾向が見られた。特に、ゲインが $g = 4.0$ の場合の平均スコアは、ウィンドウ幅が 45° 条件では 3.8、90° 条件では 3.0 となり、いずれも尺度の中立点である 4.0 より小さかったが、それよりも大きなゲインの条件ではいずれもスコアは中立点を上回った。

図 4 (b) は、各ウィンドウ幅条件におけるゲイン条件ごとの許容性について、参加者 5 名の平均スコアのグラフを示している。グラフの「×」印は平均スコアを示しており、スコアが高いほどユーザに許容されることを表す。許容性の平均スコアは、ウィンドウ幅 45° 条件では、 $g = 1.0$ のときが最も高く (7.0)、ゲインが大きくなるにつれて平均スコアが小さくなる傾向が見られた。一方、ウィンドウ幅 90° 条件では、 $g = 2.0$ で最も高い平均スコア (6.8) が得られ、それよりも大きなゲインになるほどスコアは減少傾向が見られた。ゲインが $g = 4.0$ の場合の平均スコアは、ウィンドウ幅 45° 条件、90° 条件いずれにおいても 4.2 であり、尺度の中立点である 4.0 より大きかった。一方で、ゲインがこれより大きい場合には、いずれの条件においてもスコアは中立点を下回った。

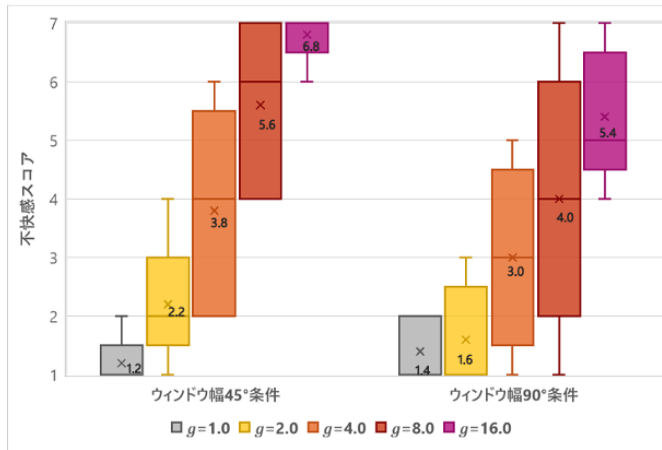
4. 考察

インタビューの結果から、ゲインが $g = 8.0$ および 16.0 では、ほとんどの参加者 (P1,P2,P3,P4) から読書中に強い酔いを感じたというコメントがあった。また、「わずかな頭部の動きでもウィンドウが大きく動くため、視線を文字に合わせにくい」(P1,P4,P5)、「サッカーのときに視線がウィンドウから大きく外れてしまう」(P3) といったコメントから、ウィンドウの動作が酔いや注意散漫を引き起こし、許容できないほど読書が困難であることがうかがえた。

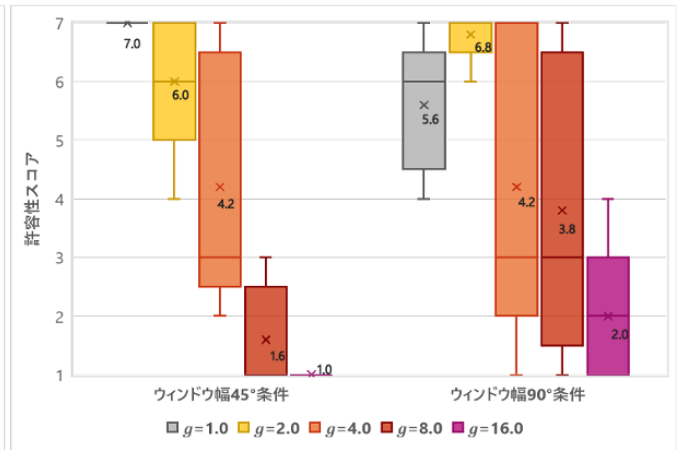
一方、ゲインが $g = 4.0$ の場合は、「強い酔いを感じた」

^{*1} <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/>

^{*2} readability.net/sys/



(a) 不快感



(b) 許容性

図 4 実験結果

(P1), 「わずかに酔いを感じた」(P2,P3), 「酔いは感じなかった」(P4,P5)といったコメントから、ユーザによっては読書における酔いの影響が許容できる大きさであることがうかがえた。さらには、「首を動かす範囲が減ったため読みやすかった」(P3,P4)というコメントから、ウィンドウの位置操作により、頭部動作の負荷が軽減されることも示唆された。

ゲインが $g = 1.0$ および 2.0 の場合は、全ての参加者が酔いを感じることなく読むことができたコメントしていた。さらに、ウィンドウ幅 90° 条件では、 $g = 2.0$ の方が $g = 1.0$ よりも許容性のスコアが高かった。インタビューでは、ウィンドウが動く方が静止した状態よりも首を動かす手間が省けたことで快適に読書ができたというコメントから、読書時の頭部移動によるウィンドウ位置操作手法の有効性が示唆された。

以上の結果を踏まえ、今後は、主観的な酔いや不快感の平均スコアが 4.0 以下、許容性の平均スコアが 4.0 以上である $g = 1.0, 2.0$ および 4.0 を採用し、これらのゲインが読書時の身体的負荷や使いやすさに与える影響について調査する。

5. まとめ

本研究では、MR 空間での読書において、頭部のヨー方向に応じて水平方向に回転するウィンドウ位置操作手法の有効性を検証するための実装とパイロットスタディを行った。パイロットスタディでは、2つのウィンドウ幅において、異なる5つのゲインを用いてVR空間内で読書してもらい、酔いや不快感の影響と許容性の主観評価を行った。その結果、 $g = 1.0, 2.0$ および 4.0 が、不快感やインタフェースの許容性の観点において有望であること、また横長のウィンドウにおいて本手法がより有効である可能性が示された。今後は、読書時の頭部回転量や身体的負荷を

客観的な指標で調査し、本手法の有効性を検証する予定である。

参考文献

- [1] Chunxue Wei, Difeng Yu, and Tilman Dingler. Reading on 3d surfaces in virtual environments. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 721–728, 2020.
- [2] Seina Kobayashi, Kei Kanari, and Mie Sato. An examination of view-settings for long texts in vr reading. In *ACM SIGGRAPH 2021 Posters, SIGGRAPH '21*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [3] Tilman Dingler, Kai Kunze, and Benjamin Outram. Vr reading uis: Assessing text parameters for reading in vr. *CHI EA '18*, p. 1–6, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [4] Lisa Aufegger, Natasha Elliott-Deflo, and Tim Nichols. Workspace and productivity: Guidelines for virtual reality workplace design and optimization. *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 15, 2022.
- [5] Mark McGill, Aidan Kehoe, Euan Freeman, and Stephen Brewster. Expanding the bounds of seated virtual workspaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 27, No. 3, pp. 1–40, 2020.
- [6] Saverio Debernardis, Michele Fiorentino, Michele Gattullo, Giuseppe Monno, and Antonio Emmanuele Uva. Text readability in head-worn displays: Color and style optimization in video versus optical see-through devices. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 20, No. 1, pp. 125–139, 2014.