

2023年度 修士論文概要

主査	舟橋健司	副査	佐藤淳
研究室	舟橋研究室		
入学年度	2022年度	学籍番号	34414012
氏名	稲垣正太郎		

論文題目 パノラマ 360 度画像の HMD 視聴における静的及び動的な視線方向制御と不快感の軽減 (Static and dynamic eye direction control and discomfort reduction in viewing panoramic images with HMD)

1 はじめに

近年の HMD の普及により多くの人が自宅で VR コンテンツを楽しんでいる。自宅では座った状態で利用されることが多いが、人間の首腰の可動域から後方視認が困難である。そこで当研究室ではこれまでに、椅子に座った状態での HMD 利用時の後方視認を容易化する“視線方向誇張手法”を提案している [1]。視線方向の角度をプログラムで誇張し、実際の視線方向と異なるより後方の風景を HMD に提示することで、腰を浮かせずとも容易に後方視認ができる。本研究ではこの視線方向誇張手法をもとに 3 つの新たな提案を行う。一つ目は“シグモイド関数誇張”である。これまでは座位を前提としており視線方向が一周することを想定していなかったため、後方付近で視線方向の角度を滑らかに接続することで、一周できるようにする。二つ目は動的な視線方向誇張である。首の回旋速度が速いときに、角速度に応じて誇張量を変化させる。首の回旋速度が速いときにいち早くより後方の風景を視界に入れられるようにする。最後はベクシオン誘発による不快感の軽減である。視線方向誇張時にパーティクルを提示し意図的にベクシオンを誘発することで不快感の軽減を試みる。

2 視線方向誇張手法の基本

見ている方向を視線方向と呼ぶが、本手法では特に、HMD に関わらず実際の顔の向きを“実視線方向”，プログラムにより HMD に表示する風景の向きを“仮想視線方向”と呼ぶ。仮想視線方向は、本来は実視線方向と等しいが、本手法では視線方向の角度を誇張して実視線方向と異なる仮想視線方向の風景を HMD に表示する (図 1(a))。仮想視線方向が実視線方向と異なり始める角度を“変化点”と呼ぶ。実視線方向の角度を r 度 ($-90 \leq r \leq 90$)，仮想視線方向の角度を $v = h(r)$ 度 ($-180 \leq v \leq 180$)，変化点の角度を a 度 ($0 \leq a \leq 90$) として以下の式を考える (図 1(b))。

$$\begin{cases} v = h(r) = e(r) = r & (|r| \leq a) \\ v = h(r) = f(r) = r \pm b|r - a|^c & (|r| > a) \end{cases} \quad (1)$$

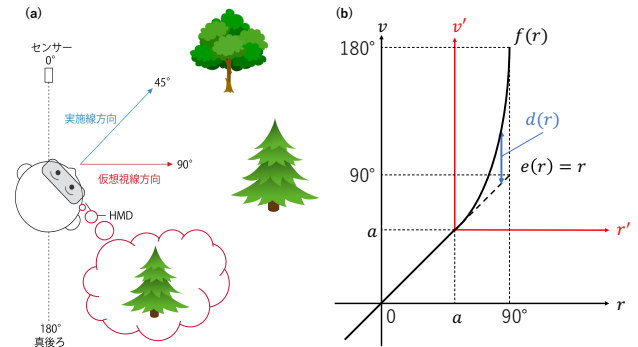


図 1: (a) 実視線方向と仮想視線方向の例, (b) 視線方向誇張手法の概念図

この b を“変化量”， c ($c \subseteq N$) を“変化方法”と呼ぶ。式 (1) における加減算符号は右回旋の時は加算，左回旋の時は減算として計算する。実験では誇張 (c, a) のようにパラメータ c と a を変えることでいくつかの誇張パターンを用意した (図 2(a))。変化点の角度が大きくなるほど満足度が低く、低次で直線に近い誇張が好まれることが確認された。また、通常の状態 (誇張なし) では後方が見えにくいですが、誇張により後方が見やすくなったとの感想が得られており、視線方向誇張手法の有用性が確認できた。

3 シグモイド関数誇張

前節で述べた視線方向誇張手法は、視線方向が水平に一周することを想定していない。しかし家庭での座位においても、時には姿勢の変更や回転する椅子により 90 度より後方に顔を向けることもあるかもしれない。そこで、前方付近では直線に近く後方付近では傾きが小さくなるシグモイド関数による誇張を試みる (図 2(b))。シグモイド関数誇張は、実視線方向の角度 r 度 ($-180 \leq r \leq 180$) に対して、仮想視線方向の角度 $v = h(r)$ 度 ($-180 \leq v \leq 180$) を以下のように表す。

$$v = h(r) = \frac{360}{1 + e^{gr}} - 180 \quad (2)$$

ゲイン g は例えば、関数 $h(r)$ の原点付近での傾きが、以前の実験で最も評価の高かった誇張 (1,0) の傾きと等しくなるように $g = -0.025$ とする。

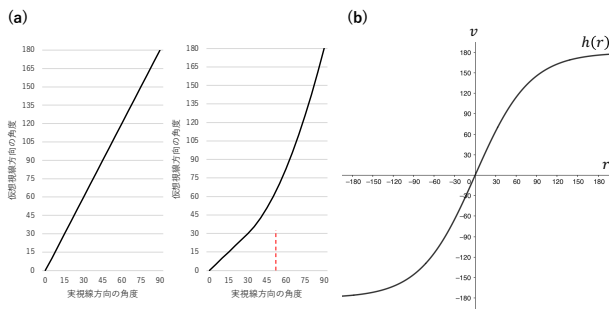


図 2: (a) 視線方向誇張における誇張パターンの例 (左から誇張(1,0), 誇張(2,30)), (b) シグモイド関数誇張

4 動的視線方向誇張

利用する VR コンテンツによって首を動かす速度は変わる．そこで、これまでの視線方向誇張をベースに首の角加速度に応じて動的に視線方向を誇張する．時刻 t における首の向いている角度、すなわち実視線方向の角度が $r(t)[deg]$ であるとき、首の角速度は $\omega(t) = r'(t)[deg/s]$ と表せる．また、首の角加速度は $\beta(t) = \omega'(t)[deg/s^2]$ と表せる．ここで、 ζ' を定数、画面のリフレッシュ間隔を Δt として、 $\zeta = \zeta' \Delta t[s^2]$ と定義する．この ζ は動的に視線方向を誇張する度合いを示しており、 ζ' はシステムのリフレッシュ間隔に応じて決定するパラメータである．この ζ を用いて動的視線方向誇張における仮想視線方向の角度 v を以下のように表す．

$$v = h(r) + \zeta\beta(t) \quad (3)$$

首の角速度が増加しているときは $d_2 = \zeta\beta(t)$ が大きくなり、従来の視線方向誇張 $h(r)$ から乖離し、より後方を視認できる．一方で、首の角速度が減少しているときは d_2 がマイナスになり乖離した分が少なくなって $h(r)$ に再び近づく．例えば仮に $v = h(r) = r$ であり、 $r = 0$ の時点で首の角速度が ω であるとする．そこから首が等角速度で回転した場合、 v はそのまま線上を動く (図 3①)．一方で角速度が増加した場合、 v は $h(r)$ から乖離する (図 3②)．乖離したのち、角速度が一定のときは傾きは $h(r)$ と等しい (図 3③)．もし角速度が減少した場合には $h(r)$ に近づく (図 3④)．

5 ベクシオン誘発による不快感軽減

被験者の周囲を水平円運動する白色不透明のパーティクルを半透明な尾を引くように HMD 内に表示して、実視線方向の変化を適切に感じられるようなベクシオンを誘発させる．コンテンツの視聴を妨げないように、パーティクルの表示位置や大きさを適切に設定する必要がある．実視線方向の角速度がグローバル座標系において ω であるとき、HMD 内の風景は HMD 座標系にお

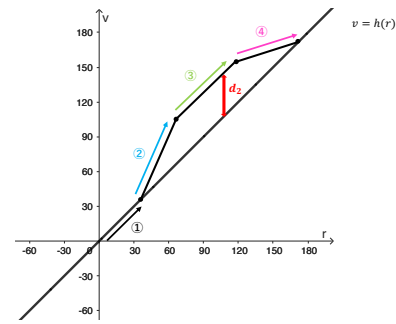


図 3: 動的視線方向誇張の概念図

いて $-\omega$ で回転している．視線方向誇張時には、HMD 内の風景は $-h'(r)\omega$ で回転する．そこで、以下のようにパーティクルを描画する．ただし、 $\omega = 0$ 、すなわち視線方向が回旋していないときは表示しない．

1. 仰角(俯角)が上下ともに HMD 座標系で $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ の領域を右回旋または左回旋する
2. HMD 座標系において角速度 $-\omega/h'(r)^\epsilon$ 相当で移動する (ϵ は定数)
3. およそ $5.5m$ の距離に対して直径 $10cm$ の大きさ
4. 上下合わせて同時に γ 個が被験者の周りに存在する (HMD の水平視野はおよそ 90 度であり、およそ $\gamma/4$ 個が視野内に存在する)
5. 透明度 α で、 δ 秒分の軌跡の尾を引く

6 むすび

シグモイド関数誇張では、顔が真後ろを向いたあたりで滑らかに一周できることを確認した．しかし一方で、姿勢変更や椅子の回転により実際の後方へ首を向けているときに、従来の誇張方法に比べて強い不快感を感じることも分かった．動的視線方向誇張では、素早く視線方向を合わせられることが確認できた．ベクシオン誘発による不快感軽減では、HMD 内の風景の動きが首の動きよりも緩やかな場合において、不快感を軽減できた．シグモイド関数誇張にパーティクルを適用したところ、少ない違和感で視線方向を一周できることが確認できた．今後の課題として、動的視線方向誇張における動的誇張度合いの精査が挙げられる．また視線方向誇張手法を実際に利用されている VR サービス、コンテンツに適用し、長期的に利用してもらうことで新たな課題の調査や本手法の有用性についての評価を行いたい．

参考文献

- [1] Seitaro Inagaki, Kenji Funahashi, “Easy rearward visibility by the control of eye direction in viewing panoramic images with HMD,” ACM SIGGRAPH Posters, 2022.