

2024年度 卒業論文

論文題目

パノラマ360度画像のHMD視聴における
動的視線方向制御の効果の検証

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学第二部 電気情報工学科
2019年度入学 31213001番

今村 和貴

目 次

第 1 章 はじめに	1
第 2 章 視線方向誇張手法	4
2.1 静的視線方向誇張手法	4
2.2 動的視線方向誇張手法	8
第 3 章 動的視線方向誇張の再評価	12
3.1 評価システム	12
3.2 予備評価	14
3.3 評価 1	15
3.4 評価 2	17
第 4 章 むすび	20
謝辞	21
参考文献	22

第1章 はじめに

近年 VR (Virtual Reality) 技術が発達してきている。それに伴って VR 市場は e コマース (Electric Commerce: インターネットを介して受発注や契約、商取引を行うこと) やゲーム分野を中心に今後も拡大していくと予測されている [1]。VR 技術は他の分野での応用も期待されている。例えば、製造業では設計、組み立てを VR 空間上で行うことで、物理的な試作品を作る必要性が低減し、初期段階で誤差を見つけることができる。その結果として費用と作業時間を大幅に削減できるようになる。他にも教育の分野に応用することで、特定の具体的な技能の習得に対して非常に高い成果が得られている [2]。例えば、溶接技術の習得では専用の装置を用いて実際の環境に近い状態で、タスクや動作手順を許容範囲に達するまで反復し改善を促すことにより、技術の習得にかかる消耗材料を削減し、指導者の拘束時間も減少させることができる。

ところで上記のような VR サービスを利用するためのデバイスの一つとして HMD (Head Mounted Display) が注目を集めている。HMD とは、ディスプレイを頭に装着し、ディスプレイに映像を表示させる装置である。HMD の原型は、1968 年に Ivan Sutherland 氏が「究極のディスプレイ」という概念を提唱し、開発したデバイスである。これは頭部の回転を測るために機械式の機構を接続する必要があったため、利用者が 3 次元世界を体験することはできたが利用者の行動に物理的な制限があった [3]。1985 年には、Lanier 氏と Zimmerman 氏によって立ち上げられた VPL Reserch 社から初の商用 VR システム RB2 (Reality Built for Two) が販売された [4]。この当時の HMD は重く画素も荒いものであった。1990 年代には VR の一大ブームが巻き起こったものの、ヘッドトラッキングに対応する VR システムを安価に提供するには至らなかった。そのため、研究開発向けの高価な HMD を除けば、映画鑑賞などのパーソナルモニタとしての利用以外に広まらなかった [5]。そして 2012 年、Lucky

氏は Oculus VR 社を設立、翌年に Oculus Rift を販売した。この HMD は以前のものに比べて安価であったため多くの人に手が届きやすい商品であった。2016 年には PlayStation VR や Oculus Rift CV1 が発売され、「VR 元年」と呼ばれるほどに VR や HMD に注目が集まり、認知が進んだ [6]。このように、手軽に家庭で VR を体験できるデバイスとして HMD が人気になっている。

HMD が普及し利用される中でいくつかの問題が生じている。当研究室はその中の二つの問題点に注目した。家庭での HMD の利用は座った状態で行われることも珍しくないだろう。座った状態で HMD を利用する際には首は左右に 60 度ずつ、腰は 40 度ずつしか回旋させることができない [7]。真後ろ（正面を 0 度として 180 度の方向）を向くためには腰を浮かせたり、立ち上がったりする必要がある。真後ろを確認するたびにこのような動作が必要になるのは面倒である。これが一つ目の問題である。この問題を解決するために、当研究室では、現実の視線方向（顔が向いている方向、実視線方向）の回旋量に応じて仮想空間における視線方向（仮想視線方向）の回旋量を誇張するように増加することで、例えば実視線方向を 90° 回旋させたときには仮想空間上で真後ろを向くことができるような、視線方向誇張手法を提案している。この手法を用いれば、45 度首を回旋させたときに仮想視線方向を 90 度にすることも可能である。この視線方向誇張手法を用いることで座った状態でも真後ろの風景を容易に確認できる [8]。

ところで、例えば VR シューティングゲーム [9] のような素早く視線方向を変えたい状況もあるだろう。このような状況では素早く首を回旋させて、また目的の方向で視線を止めたい。素早く首を振ることを意識すると視線方向が目的の方向を通り過ぎやすくなり、逆に目的の方向で視線を止めることを意識すると首の回旋速度が遅くて目的の方向にたどり着くのが遅くなりやすいだろう。先述の視線方向誇張手法を適用するとさらに仮想空間上での単位時間当たりの視線方向の回旋量（回旋速度）が大きくなるため目的の方向で視線方向を止めることが難しくなる。これが 2 つの問題である。この問題を解決するために先述の静的な視線方向誇張に対して、動的な視線方向誇張手法も提案されている [10]。人間が目的の方向に視線を合わせる際に行う首の回旋動作の特徴に注目している。首の回旋を始めるときには回旋速度は加速し、首の回旋を止めるときには回旋速度は減速する。加速を行うときは視

線方向を、まだ離れている目的の方へ向けたいときであり、減速を行うときは視線方向がすでに目的の方向に近くなっているときであろう。そこで加速時にはより回旋した視線方向の景色が見えるように、仮想空間における視線方向の回旋量を増加させる、すなわちより誇張する。また減速時には目的の方向で視線方向を止めやすくするために、仮想空間における視線方向の回旋量を減少させる。すなわち誇張の度合いを抑える。より素早く視線方向を動かせて、かつ目的の方向で視線方向を止められる動的視線方向誇張手法が提案されている。

動的視線方向誇張手法の有用性を確認するために先行研究にて評価が行われた。先行研究では、動的視線方向誇張手法の有用性確認のための評価も行われたが平均値において若干の効果が見られただけで確かな結果は得られなかった。誇張の度合いに関する検討もされておらず、また参加者も少なかった。そこで本研究では、違和感を覚えない範囲で効果が表れることを期待して、誇張の度合いを大きくして効果的な度合いを探る。また十分な人数の参加者に評価してもらうことで確かな結果を得たい。再評価の結果、一部の人において有効であることが示唆されたが、すべての人に対して有効であることは確認できなかった。

第2章 視線方向誇張手法

この章では静的視線方向誇張手法と動的視線方向誇張手法について説明を行う。なお、現実の顔（目）の向きを実視線方向と呼び、仮想空間上でHMDに表示する映像の方向を仮想視線方向と呼ぶ。なお正面方向（首を回旋させていないときの実視線方向）を0度とし、真後ろを180度とする。

2.1 静的視線方向誇張手法

座った状態でHMDを利用するときには、首を左右60度、腰を左右40度しか回旋させることができない[7]。座った状態では真後ろを向くことができず真後ろを向くためには、立ち上がったり腰を浮かせたりして後ろを向く必要がある。座った状態では実視線方向を90度までは容易に回旋させることができると想定して、座った状態でも真後ろを確認できるように仮想視線方向を誇張する（図2.1、図2.2）。ただし正面付近では仮想視線方向と実視線方向の一致させることも考えたい。実視線方向と仮想視線方向が乖離し始める点を変化点と呼び、変化点から徐々に実視線方向と仮想視線方向が乖離し始め、実視線方向が90度を向いたときに仮想視線方向が180度を向くように誇張する。実視線方向の角度を r 度 $(-90 \leq r \leq 90)$ とし、仮想視線方向の角度を $v = h(r)$ 度 $(-180 < v < 180)$ とする。変化点を a 度 $(0 < a < 90)$ として仮想視線方向 v を表す式を考える（図2.3）。

$$\begin{cases} v = h(r) = e(r) & (|r| \leq a) \\ v = h(r) = f(r) & (|r| > a) \end{cases} \quad (2.1)$$

式中の $e(r)$ と $f(r)$ は r の関数である。ここで、 $r \geq 0$, $v \geq 0$ に注目した上で便宜的な座標軸 r' , v' を考える。これを用いて $e'(r')$, $f'(r')$ は次式のように定まる。また、式(2.2)を式(2.1)に代入することで $e(r)$ と $f(r)$ は式(2.3)のように求められる。

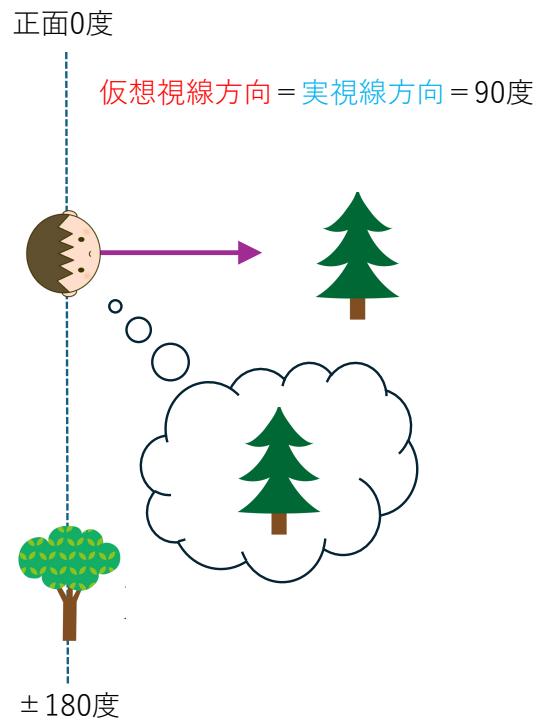


図 2.1: 実視線方向と通常の仮想視線方向

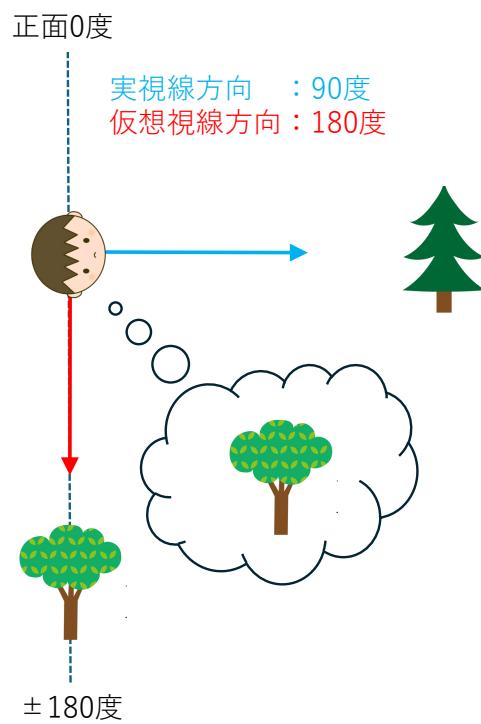


図 2.2: 実視線方向と誇張した仮想視線方向

$$\begin{cases} v' = e(r' + a) - a = e'(r') \\ v' = f(r' + a) - a = f'(r') \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\begin{cases} e'(r - a) + a = e(r) \\ f'(r - a) + a = f(r) \end{cases} \quad (2.3)$$

これら $e(r)$ と $f(r)$ ($r \geq 0$) の差分である $d(r)$ について考えると、 $d'(r')$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} d(r) &= f(r) - e(r) \\ f(r) &= d(r) + e(r) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} d'(r') &= f'(r') - e'(r') = f(r' + a) - e(r' + a) \\ &= f(r) - e(r) \\ &= d(r) \end{aligned} \quad (2.5)$$

ここで実視線方向と仮想視線方向の差分を、変化点を原点として次のように考える。

$$d'(r') = br'^c \quad (c \subseteq N) \quad (2.6)$$

この b は「変化量」と呼び、 $r = 90$ のときに $v = 180$ となるように決め、また c ($c \subseteq N$) は「変化方法」と呼び、 $c = 1$ の場合を除き、 $r' = 0$ における $d'(r')$ の傾きは 0 である。ここから式 (2.7) を得る。また式 (2.1) を式 (2.8) のように改めて考える。

$$\begin{aligned} v &= f(r) = e(r) + d(r) = e(r) + d'(r - a) \\ &= e(r) + b \cdot (r - a)^c \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{cases} v = h(r) = e(r) = r \quad (|r| \leq a) \\ v = h(r) = f(r) = r \pm b|r - a|^c \quad (|r| > a) \end{cases} \quad (2.8)$$

式 (2.8) における加減算符号は右回旋のときは加算、左回旋のときは減算として計算する。変化点 a ($0, 30, 45, 60$) と変化方法 c ($1, 2, 3$) の様々な組み合わせに対して、参加者に 360 度パノラマ画像を鑑賞してもらい静的視線方向誇張に対して評価してもらった。それぞれの組み合わせに対して、操作感 (向きたい方向に対する視線方向

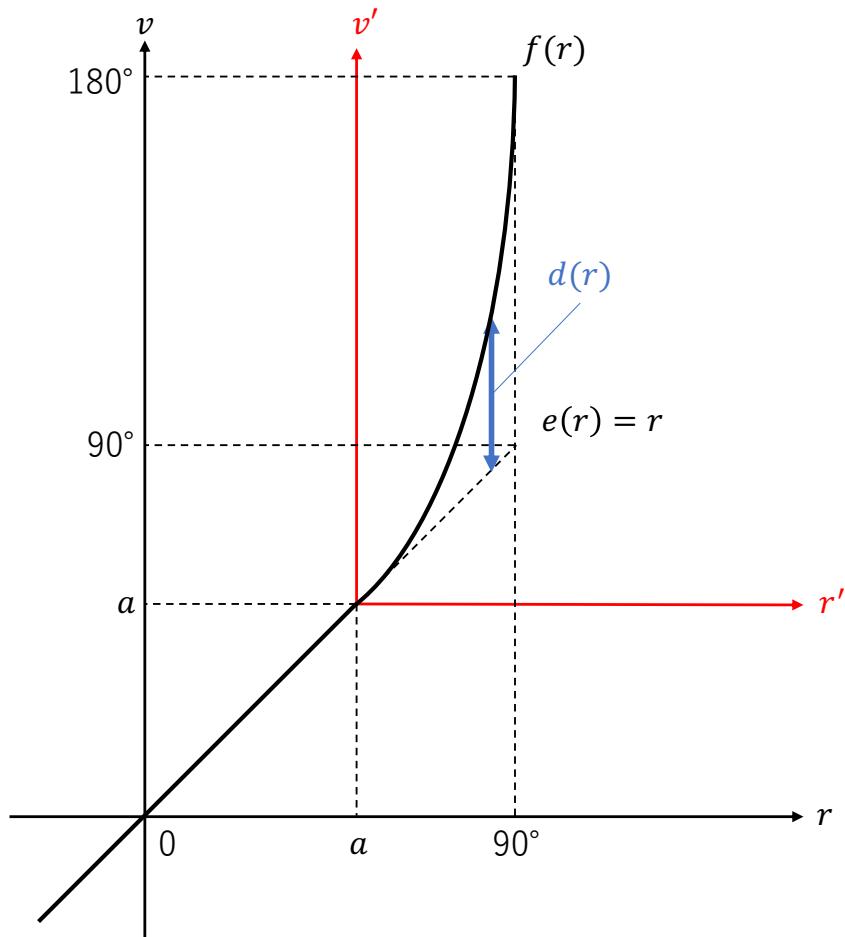


図 2.3: 静的視線方向誇張の概念図

の合わせやすさ)と不快感(変化点もしくはその前後における酔いや気持ち悪さの程度)について0~4の5段階で評価してもらった。操作感の点数から不快感の点数を引いた値を満足度とし、比較評価を実施した。結果は変化点 $a = 0$ 、変化方法 $c = 1$ のときに満足度が一番高くなかった。また変化後の角度が大きくなるにつれ満足度が低くなり、低次で直線に近い誇張が好まれる傾向が見られた。評価体験の参加者から座った状態で後方が確認しやすくなったという感想が得られたことから、静的視線方向誇張手法の有用性を確認できた。

2.2 動的視線方向誇張手法

例えば、VR シューティングゲームでは素早く視線方向を変えたいだろう。VR シューティングゲームではマップ上に敵が出現する。敵は常に視界の内側に現れるわけではなく、真横や真後ろに出現する場合も想像できる。そのような敵に対して素早く視線を移動させ、敵の方向で視線を止めることが必要になる。しかし素早く視線方向を移動させようとすると目的の方向を通り過ぎる場合があり、逆に目的の方向で視線方向を止めることを意識すると、視線方向の回旋速度が遅くなり目的の方向にたどり着くのが遅くなるだろう。さらに先ほどの静的誇張を適用することさらに仮想視線方向の回旋速度が増加し、目的の方向で視線方向を止めることがより難しくなる。そこで首の回旋速度に注目し、素早く視線方向を変えたうえで目的の方向で止めることができる動的な視線方向の誇張を考える。視線方向が目的の方向から離れている時は視線方向を変えるために回旋速度が増加し、視線方向が目的の方向に近づくと視線方向の回旋速度が減少する。すなわち回旋速度が加速している間はより先に回旋した方向の風景を HMD に映し出し、減速している間は回旋を少なく抑えたい。この動的誇張はある時刻での実視線方向に対する誇張量を。先述の静的誇張のように実視線方向に対して静的に決めるのではなく、その回旋速度に応じて動的に決める。時刻 $t[s]$ における実視線方向は $r(t)[deg]$ であり、角速度 $\omega(t) = r'(t)[deg/s]$ である。首の角加速度は $\beta(t) = \omega'(t)[deg/s^2]$ と表される。動的誇張の度合いを表すパラメータとして定数 ζ を、画面のリフレッシュ間隔を Δt として $\zeta = \zeta' \Delta t$ と定義する。動的誇張の誇張量を d_2 とし、 ζ を用いて以下の式で表される。

$$d_2 = \zeta \beta(t) \quad (2.9)$$

動的誇張と静的誇張をともに適用した場合の仮想視線方向 $v[deg]$ は以下のようにあらわされる。

$$v = h(r) + d_2 \quad (2.10)$$

式 2.9、式 2.10 より、実視線方向の回旋速度が増加中すなわち角加速度 $\omega'(t)$ が正のときは視線方向の回旋をより大きくするために回旋量を増やし、実視線方向の回旋速度が減少中すなわち角加速度 $\omega'(t)$ が負（逆方向への加速）のときは視線方向の回

旋を抑えるように回旋量を減らす。また視線方向の回旋が等速、すなわち加速も減速もしていないときには動的誇張による誇張は行われず静的誇張のみにより仮想視線方向が変化する。動的視線方向誇張を概念図により説明をする(図2.4)。仮想視線方向 $v = h(r) = r$ として、30度付近まで等角速度で首が回旋しているとする。等角速度運動中は加速も減速もされていないため直線上に沿って仮想視線方向が変化する。続いて加速した場合を考える(図2.4区間①)。この区間では加速が行われており、実視線方向と仮想視線方向が徐々に乖離する(d_2 が増加)。加速が終わり回旋速度が等角速度になると乖離を維持したまま視線方向が回旋する(図2.4区間②)。すなわち等角速度運動中においては傾きが $h(r)$ と等しくなる。そしての区間で減速を行う。減速中(図2.4区間③)には加速中(図2.4区間①)にできた乖離した差が減少する(d_2 が減少)。

評価体験では参加者にHMDを装着してもらい、周囲に現れる的に対して順番に視線方向を合わせるタスクを行ってもらった。的に視線方向を1秒間合わせ続けることで的が消滅し、次の的が出現する。すべての的(合計10個)が消滅し終えるまでの時間計測を行う。なお予備評価から、 $\Delta t = 0.011$ とみなして、動的誇張の値は $\zeta' = 4$ とした。評価体験では十分な練習(最低でも3回以上)を行ったうえで通常状態(静的誇張なし)と線形誇張(静的誇張: $a = 0, c = 1$)それぞれに対して、動的誇張ありとなしの2通りを2回ずつ計8回のタスクを行ってもらいタスク完了に要した時間を計測した。評価体験でタスクを行ってもらう中で時折、的から視線を外してしまう光景がみられた。明らかな失敗試行は除外することもできるが、わずかな失敗は客観的な判断が難しいため、各条件においてタスク完了時間の短い記録で比較した。各参加者ごとの結果は表2.1、表2.2の通りである。通常状態では、動的誇張の導入により成績向上した人数が10人中5人中であり、タスク完了時間が短くなる人数に差はなかった。線形誇張下では、10人中7人が動的誇張の導入による成績向上がみられた。しかし、10名の参加者での計8回の試行と少なく、成績向上も1%に満たない参加者もあり、線形誇張下の条件における動的誇張の導入が確かに成績向上に影響したのか否か不明である。

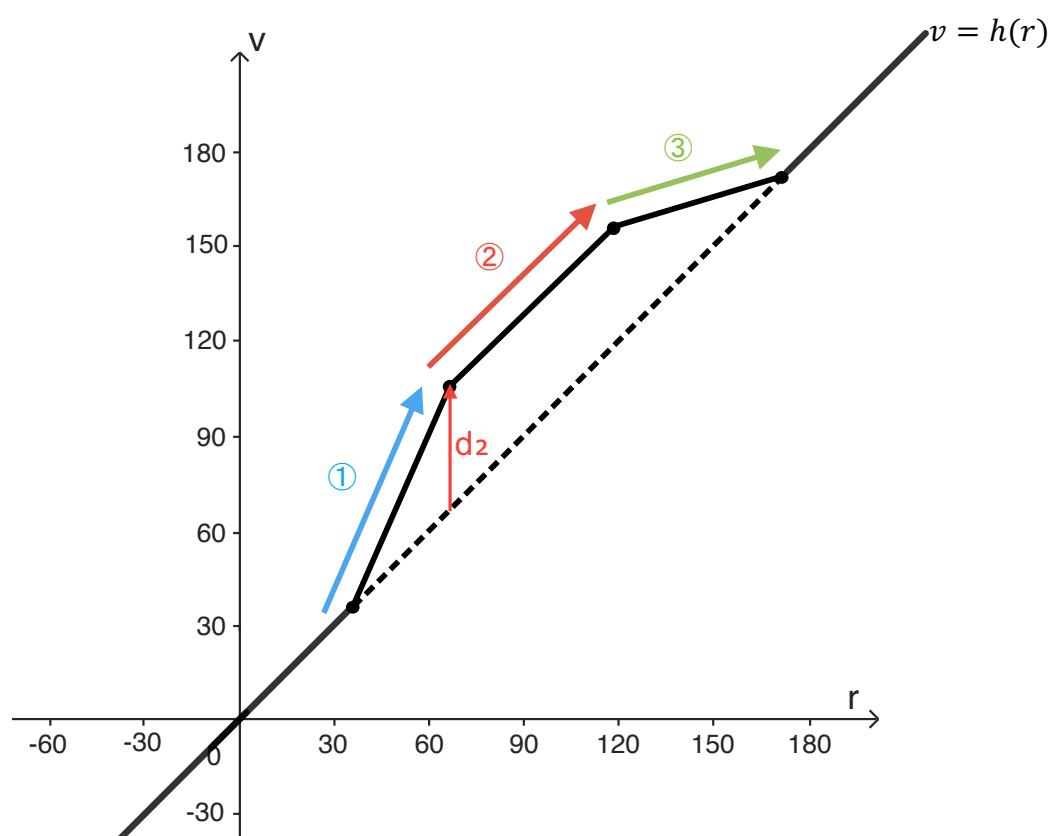


図 2.4: 動的視線方向誇張の概念図

表 2.1: 通常の状態での動的視線方向誇張ありとなしにおける実験タスク完了時間の比較

動的視線方向誇張あり	20.394	19.848	18.578	19.124	20.705	22.355	18.255	19.558	21.674	21.719
動的視線方向誇張なし	19.5	20.193	19.747	19.335	20.415	21.259	18.444	19.46	21.051	22.888

表 2.2: 線形誇張下での動的視線方向誇張ありとなしにおける実験タスク完了時間の比較

動的視線方向誇張あり	22.276	24.448	20.66	23.735	23.568	25.628	22.097	23.79	24.793	23.278
動的視線方向誇張なし	23.356	24.548	20.738	24.002	23.746	24.703	20.85	22.298	25.138	25.873

第3章 動的視線方向誇張の再評価

この章では動的視線方向誇張手法の再評価について説明する。誇張手法の概略は前章でも述べているが実際の評価手順と合わせて改めて詳細を述べる。

3.1 評価システム

前章で述べた、動的視線方向誇張手法の評価のために構築した体験システムを、本研究における再評価でも利用した。システムは、仮想空間上で素早く首を振り、目的の方向で視線方向を止める状況を想定している。体験者は、素早く首を振って目的の方向(出現する目的の方向)に仮想視線方向を合わせるタスクを行える。具体的には周囲に目的が出現して、その的に対して1秒間視線方向を合わせ続けることでの的が消滅し、消滅後に次の目的が出現する。設定された数の的をすべて消滅させることを1試行とする。評価のために各試行完了時間を計測する。評価にはMetaQuest2を用いた。MetaQuest2の片目当たりの解像度は 1832×1920 であり[11]、実効視野角は95度程度のことである[12]。評価のために、参加者が首を大きく素早く振る状況を作り出したい。そこで、ある時点の首の向き(現在の目的のある方向)に対する、次に出現する目的の方向を、次のように決定する。初期方向の正面0度に対して的nの方向(角度)を D_n とした場合に的n+1の方向は $D_{n+1} = D_n \pm 10m$ ($7 \leq m \leq 17$)、ただし m は整数である。首の向きが一周してしまわないように、式中の加減算符号は必ず交互に演算する。またHMD着用時の視野角は90度であり、次の目的は必ず視野外にある(図3.1、図3.2)。このmはランダムに決定するが初期方向の正面に対して首の向きが±180度を超えないように制限する。単に制限するとmは小さな値に偏り、大きな値、すなわち特に大きく首を振る状況が少なくなってしまう。実際には一連の1試行において、mの値が均等に散らばるように事前に準備する。左右交互に目的を追うわけだが、常に次の視野外に目的があるため、参加者はどちらに首を

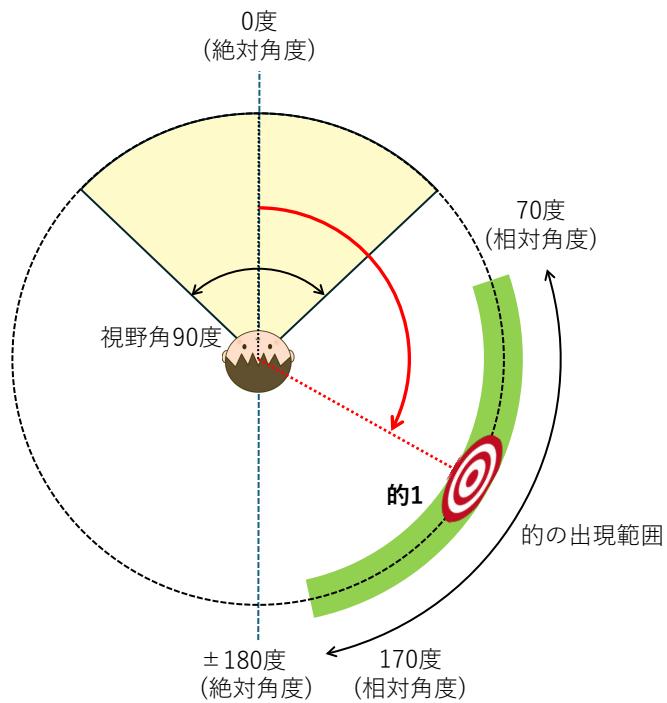


図 3.1: 最初 (正面向きから) の的の出現方向の例

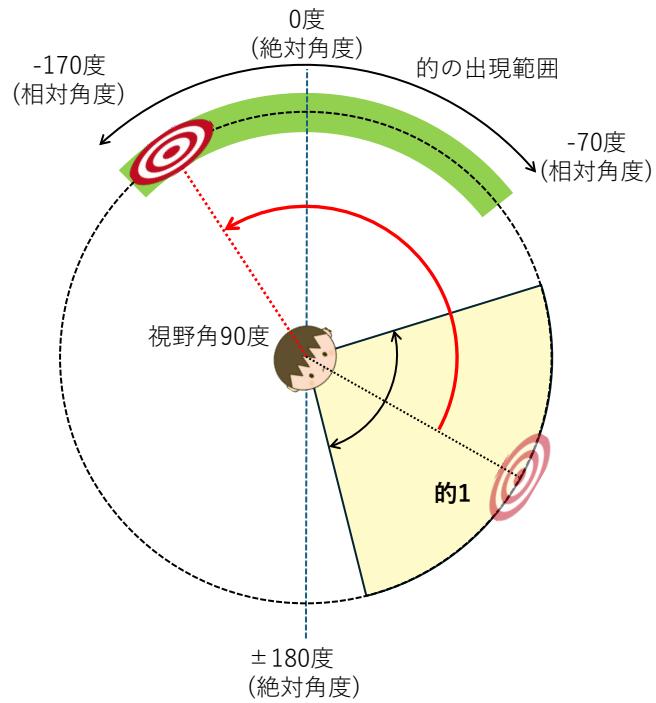


図 3.2: 次 (図 3.1 の後) の的の出現方向の例

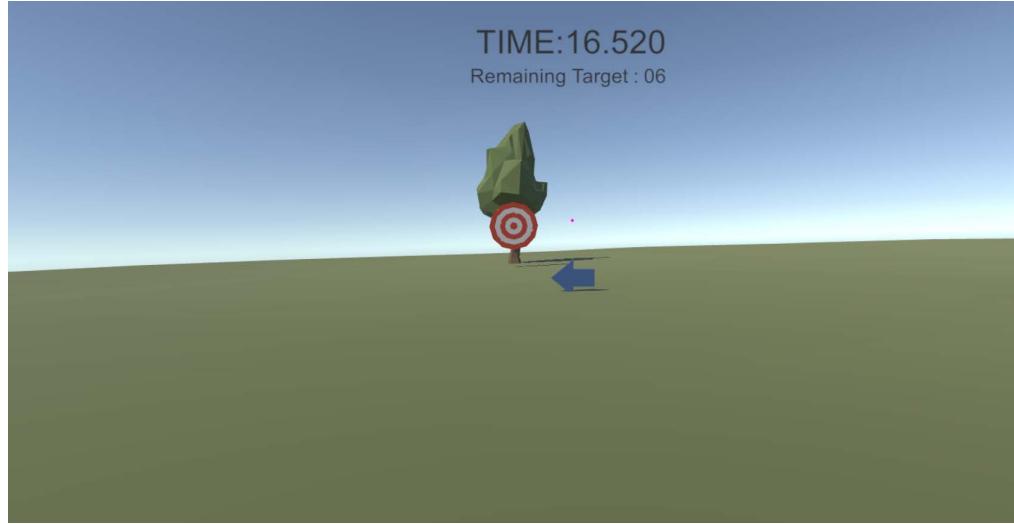


図 3.3: 評価システムの実際の表示

振ればよいか迷うかもしれない。そこで、次の的の方向を、その時点の正面に右、あるいは左向きの矢印で指示する(図3.3)。参加者は指定の方向へ首を振っていけば的の方向に視線を合わせられる。参加者の体験時には、前述の変化点 $a = 0$ 、変化方法 $c = 1$ での静的誇張と、次節で述べる度合い ζ での動的誇張を適用する。参加者に複数試行を体験してもらうために、複数の的の出現パターンを準備しておく。事前に準備された出現パターンであり、参加者にとっては方向は交互であるが、ある時点の的から次の的への方向の変位はランダムである。各試行は同程度の難易度、すなわち首を振る変位の合計はおよそ同じである。

3.2 予備評価

予備評価は、1人を対象に、先行研究における $\Delta t = 0.011$ 、動的誇張の度合い $\zeta' = 4$ に対して、評価に適する範囲でのより強い度合いを決定するために行った。動的誇張の無い場合 ($\zeta' = 0$) と動的誇張の度合い $\zeta' = 10, 20$ の3種類の条件でそれぞれ10試行ずつ(合計30試行)体験してもらい、時間を計測した。1試行の的の数は10とした。動的誇張の度合いごとに全試行の平均を計算し、1試行に要した時間を比較した。

動的誇張の無い場合の24.359秒と比較して、 $\zeta = 10, 20$ の場合はそれぞれ22.826秒、22.982秒と、動的誇張の有る場合の方が1試行に要する時間がおよそ6%短縮さ

れた。体験者が少人数で、また先行研究での体験者と異なるため単純に比較できないが、先行研究における $\zeta' = 4$ の時よりも大きな値にすることでより大きな効果が期待できそうである。一方で評価後の感想によると、動的誇張の度合い $\zeta' = 20$ では、減速時に誇張されていることによる明らかな違いを感じていた。動的誇張の度合いが大きすぎると体験者が動的誇張に気が付く、言い換えれば違和感を感じる場合がある。運動感覚と視覚情報の不一致による VR 醉いが引き起こされる可能性がある [11,12]。次で述べる評価では動的誇張の度合いを $\zeta' = 10$ とする。

3.3 評価 1

再評価では、各参加者ごとの体験試行数を増やし、1試行における的の数も増やした。先行研究では、10名に対して、各パターンでの試行数は2回で、1試行内の的の数は合計10であった。それらを全16名、各試行数7回、的の数を15とした。各参加者には、線形誇張有り ($h(r) = 2r$) で動的誇張無しのパターンと線形誇張有りでかつ動的誇張も有りの2つのパターンにおいてタスクを行ってもらった。まずいずれかのパターンにおいて十分な練習を行ってもらった後に、同じパターンで7試行のタスクを行ってもらった。5分以上の休憩ののち、続いて他方のパターンでも十分な練習を行ってもらった後に、そのパターンで7試行のタスクを行ってもらった(図3.4)。体験するパターンの順序は各参加者ごとにランダムとした。適用している誇張手法は伝えなかった。なお参加者16名に対して、順序は半数ずつで同じであった。動的誇張無しと有りのパターンで、それぞれのタスク完了時間平均値を求めて比較した(図3.5)。動的誇張有りにおいて7名は成績向上していたが、9名は成績が悪化していた。しかし、成績向上の7名は全員が先に動的誇張無しのパターンを体験しており、一方で成績悪化の9名のうち8名は先の動的誇張有りのパターンを体験していた。すなわち十分な練習がなされておらず單に後で行ったパターンの成績が良かった可能性が考えられる。評価後に「休憩の前後で変化を感じたか」質問したところ、16人中2人が「はっきりと分からないが一方のパターンで的に合わせやすいと感じた」と回答して、それは動的誇張有りのパターンだった。また1人は「はっきりと違いが分かり、一方のパターンで合わせづらい」と回答して、それも動



図 3.4: 評価の様子

平均時間		順序
動的誇張有	動的誇張無	
31.367	32.931	無→有
39.762	41.034	無→有
35.671	39.989	無→有
36.474	39.207	無→有
36.586	39.749	無→有
38.463	42.129	無→有
34.791	37.617	無→有
46.933	45.078	無→有
41.698	40.288	有→無
34.598	34.016	有→無
35.945	34.889	有→無
34.819	34.544	有→無
34.494	32.420	有→無
43.822	37.549	有→無
45.341	45.199	有→無
48.554	42.331	有→無

図 3.5: 動的誇張の有無別の平均完了時間 [s]

的誇張有りのパターンだった。他の13人は「特に変化を感じない」と回答した。

3.4 評価2

前節の評価では、練習が十分でなかったことが疑われた。そこで、改めて評価を行った。評価1と同様に各参加者には線形誇張ありで動的誇張無しのパターンと、線形誇張ありでかつ動的誇張もありの2つのパターンにおいて、タスクを行ってもらった。動的誇張の度合いは $\beta' = 15$ とした。十分な練習ののち各パターンにおいて4試行を1セット、1試行あたりの目的の数を10個として8セットのタスクを行ってもらった。すなわち合計32試行であり、各セットの間では1分以上の休憩を設けて、またセットごとに2つのパターンを交互に変更した。体験するパターンの順序は各参加者ごとにランダムとした。適用している誇張手法は伝えなかった。参加者は9名であり、動的誇張無しから始めた人が5人で、動的誇張有りから始めた人が4人であった。各参加者に対して各セットの平均タスク完了時間求めた(表3.6)。参加者によっては1セット目から8セット目にかけて平均タスク完了時間が減少傾向にあるが、全般的にパターンが変わることに昇降しているようである。全体的に動的誇張有りにおいて成績の良い(時間が短い)参加者と、反対に動的誇張無しにおいて成績の良い参加者のグループに分けることができそうである(図3.7、図3.8)。なお、両図中の丸印(○)が動的誇張有りを、バツ印(×)が動的誇張無しを示している。図3.7のグラフでは黄緑色で示す参加者は動的誇張有りの効果が確認でき、他の参加者も一部で期待と異なる成績もあるが、全般に効果が見られる。対して、図3.8のグラフでは、青色で示す参加者は動的誇張無しのパターンで成績が良く他の参加者も常にそうとは言えないが、全般に動的誇張有りのパターンで成績が悪いようである。両グラフでも参加者によってはセットの回数が進むごとにタスク完了時間は短縮される傾向がみられる。前節の考察と同様に、評価システムに対する慣れによる成績向上であると考えられる。また終盤に成績が悪化している参加者も見られる。続けての体験による疲れが影響した可能性がある。動的誇張は全員に対して有效であるとは言えないどころか悪影響を与えていたかもしれないが、一方で、一定数に対しては素早く首を振って目的の方向で視線方向を止める状況において成績向

順序	1セット目	2セット目	3セット目	4セット目	5セット目	6セット目	7セット目	8セット目
無→有→…	26.919	26.612	25.021	25.941	25.237	25.794	24.175	23.577
無→有→…	21.637	22.983	21.570	22.292	22.060	22.085	21.124	21.169
無→有→…	26.512	24.841	26.402	26.040	26.350	25.865	24.313	26.115
無→有→…	24.324	22.817	24.300	23.684	23.358	23.758	22.551	23.074
無→有→…	21.800	21.041	20.105	20.464	20.728	20.897	20.697	21.302
有一無→…	19.323	20.713	19.560	19.904	20.213	19.815	19.946	19.679
有一無→…	25.525	23.289	24.255	23.529	23.854	24.073	23.694	23.437
有一無→…	20.327	20.967	19.599	20.586	20.210	21.962	19.619	20.300
有一無→…	23.844	23.551	23.636	24.846	22.305	23.583	23.469	23.387

図 3.6: セット毎の平均完了時間 [s]

上につながる効果がありそうである。

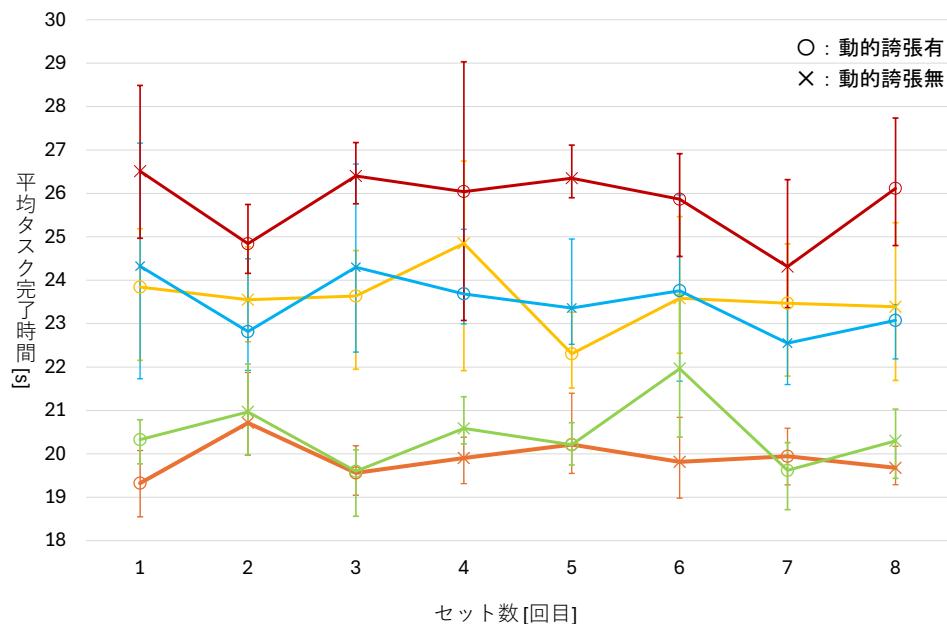


図 3.7: セット毎の平均完了時間の推移
動的誇張有の成績が良い

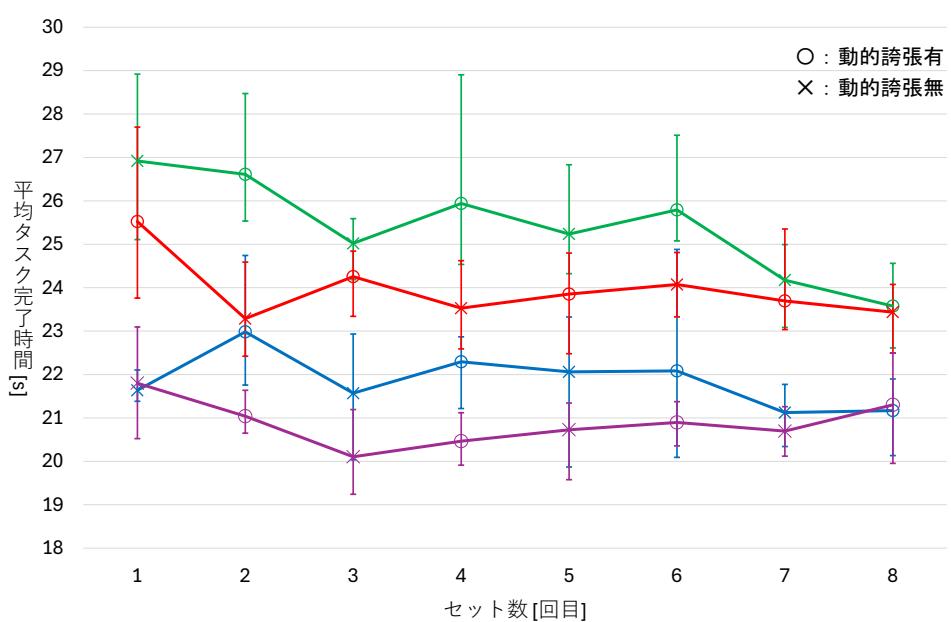


図 3.8: セット毎の平均完了時間の推移
動的誇張有の成績が悪い

第4章 むすび

本研究では動的視線方向誇張手法の効果を確認するために再評価した。VR体験時には素早く視線方向を変えたい状況もあるだろう。しかし素早く視線方向を移動させた時には目的の方向で視線方向を止めることが難しくなり、目的の方向で視線方向を止めることを意識すると、目的の方向にたどり着くのが遅くなるだろう。この問題を解決するために動的視線方向誇張手法が提案されている。本研究では、先行研究と同様の評価システムで動的誇張手法を再評価した。評価の結果、一部の人では動的誇張を行うことでタスク完了時間が短縮された。一方で動的誇張を適用することによって成績が悪くなる人や、ほとんど変わらない人もいた。動的誇張は全員に対して有効であるとは言えないどころか悪影響を与えているかもしれないが、一方で、一定数に対しては素早く首を振って目的の方向で視線方向を止める状況において成績向上につながる効果がありそうである。今後は、今回の評価方法とは異なる指標を考えて、別の側面から評価することも考えたい。その上で一部の人だけに有効であった理由を明らかにするとともに、より多くの人に対して有効な誇張方法を検討したい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、日ごろから多大なご尽力をいただき、ご指導を受け賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。最後に本研究に多大なご協力をいただきました舟橋研研究室諸氏並びに評価参加者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 総務省, 令和6年度版情報通信白書, “世界のAR/VRの市場規模等の推移及び予測”, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/pdf/index.html>
- [2] Steve Aukstaklnis (著者), 前平謙二 (訳者), 笠川梢 (訳者), 薮田真弓 (訳者), 藤原誉枝子 (訳者), “ARの実践教科書”,マイナビ出版, 2020.
- [3] 館暲, 佐藤誠, 廣瀬通李, “バーチャルリアリティ学”, バーチャルリアリティ学会(編), コロナ社, 2011.
- [4] 菊池望, “商用人工現実感システム「RB2」”, 機密工学誌, Vol.57, No.8, pp.1347–1351, 1991.
- [5] SONY, “パーソナルLCDモニター”グラストロン”発売”, <https://www.sony.com/ja/SonyInfo/News/Press/199606/96CI-075/>
- [6] 清川清, “ヘッドマウントディスプレイ”, バーチャルリアリティ学会(編), コロナ社, 2024.
- [7] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹, “関節可動域表示ならびに測定法”, リハビリテーション医学, Vol.32, No.4, pp.207–217, 1995.
- [8] S. Inagaki,K. Funahashi, “Eye direction control and reduction of discomfort byvection in HMD viewing of panoramic images”, IEEE VR 2024, 915–916(2024)
- [9] DYNAMO AMUSEMENT, “VAR BOX”, <https://dynamoamusement.jp/works/products/varbox/>
- [10] 稲垣正太郎, “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”, 名古屋工業大学修士論文(2023)

- [11] Meta, “Meta Quest 2”, <https://www.meta.com/jp/quest/products/quest-2/tech-specs/#tech-specs>
- [12] iNFINITE Production, “iNFINITE Production”, <https://www.infinite.cz/projects/HMD-tester-virtual-reality-headset-database-utility>
- [13] 伴地芳啓, 吉川佳祐, 河合隆史, “HMD を用いた 360 度動画視聴時の座面の回転がユーザ体験に及ぼす影響”, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.23, No.3, pp.217–227.
- [14] 木島竜吾, 平野翔, “他律的な視方向の回転運動と VR 酔いの関係”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 第 27 回 (2022)