

2020年度 卒業論文

アイトラッキングを用いた
VR空間上での照準補助に関する研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0117106

栗原 亨輔

2021年2月

2020年度 卒業論文概要

論文題目

アイトラッキングを用いた
VR空間上での照準補助に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0117106

氏名

栗原 亨輔

指導
教員

渡辺 大地 教授

キーワード

ゲーム、アイトラッキング、VR、
視線、操作補助、照準

近年、バーチャルリアリティーヘッドマウントディスプレイ (以下 VRHMD) を用いた VR ゲームが急速に普及し始めている。その中でも、VR シューティングゲームは一定の人気があるジャンルである。しかし、VR シューティングゲームには、射撃を標的に当てるのが難しいという問題が存在する。現実の銃を撃つように照準器を使って狙うという動作が必要になるからである。リアルな体験を重視したゲームならば射撃の難しさは問題にはなりにくいだが、射撃の正確性が重視されないカジュアルなタイプのゲームでは、射撃の難しさはゲームデザイン上の障害となる。現在主流の照準補助の手法として、レーザーサイトのように射線を可視化して狙いやすくするという手法も存在するが、描写自由度の低減や、ゲーム内の世界観と齟齬が発生する可能性があるといった問題がある。そこで、本研究では、条件を満たした際に標的に向かって弾が自動追尾するという手法を提案する。条件は、標的の当たり判定領域を多少拡張したものに、アイトラッキングで得た視線と、銃の射線が共に触れていたら、というものだ。これによって、照準が多少外れていても標的を注視していて、かつ、大まかな狙いをつけることができれば必ず弾が命中する、という挙動を実現する。評価は、提案手法を使用した VR シューティングを作成した上で、被験者にプレイさせることで行う。提案手法を使用した場合と使用してない場合を両方ともプレイさせ、命中率等を計測したうえで、アンケートを行い、感覚的な面と客観的な面の両面で評価する。

実験の結果、あまり違和感を感じさせずに命中率を向上させ、その上で画面に余計な情報を必要としない照準補助手法というものが実現できたと考えられる。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第2章	提案手法	4
2.1	提案手法	5
2.2	機材	5
2.3	トラッキング	8
2.4	検証用環境	9
2.5	標的と当たり判定	11
2.6	誘導アルゴリズム	12
第3章	評価	13
3.1	実験内容	13
	3.1.1 アンケート内容	15
	3.1.2 取得ログ内容	16
3.2	実験結果	16
	3.2.1 アンケートによる主観評価	16
	3.2.2 数値計測による客観的評価	19
3.3	考察	21
第4章	まとめ	23
	謝辞	24
	参考文献	25

目 次

2.1	手法の略図	5
2.2	VIVE ベースステーション	6
2.3	VIVE コントローラー	6
2.4	VIVE トラッカー	7
2.5	FOVE 0	8
2.6	VIVE トラッカーを使用して FOVE の位置角度トラッキングを行うための機材	9
2.7	手法の実装図	10
2.8	標的	11
2.9	拡張判定を可視化した標的	11
3.1	フェーズ 1 の出現範囲	14
3.2	フェーズ 2 の出現範囲	14

表 目 次

3.1	1 群の被験者によるアンケート	17
3.2	2 群の被験者によるアンケート	18
3.3	1 群被験者の計測データ	19
3.4	2 群被験者の計測データ	20

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、バーチャルリアリティーヘッドマウントディスプレイ (以下 VRHMD) を用いた VR ゲームが急速に普及し始めている [1]。その中でも、VR シューティングゲームは一定の人気があるジャンルだ。しかし、VR シューティングゲームには、射撃を標的に当てるのが難しいという問題が存在する。現実の銃を撃つように照準器を使って狙うという動作が必要になるからである。リアルな体験を重視したゲームならば射撃の難しさは問題にはなりにくいだが、射撃の正確性が重視されないカジュアルなタイプのゲームでは、射撃の難しさはゲームデザイン上の障害となる。また、VR シューティング初心者には射撃の難しさが、ゲームを楽しく遊ぶまでのハードルとして機能する可能性もある。現在主流の照準補助の手法として、レーザーサイトのように射線を可視化して狙いやすくするという手法も存在するが、描写自由度の低減や、ゲーム内の世界観と齟齬が発生する可能性があるといった問題がある。

VR で視線を活用しようという試みは多くある。例えば、菅沼ら [2] は、視線と視野角に応じて敵キャラクターの AI を動的に調整することで、VRFPS における適切な難易度調整を目指した。また、村田ら [3] は VR 空間内で視線入力を行うための基礎研究を行った。佐藤ら [4] は視線

を用いた VR 空間内での 3 次元移動システムの研究を行った。小宮山ら [5] は、VR 空間内におけるアバターコミュニケーションに視線追跡を用いる事で起こる変化について研究を行った。また、三浦 [6] は身体障害者が VR を使用するための手法として視線操作を選択し、視線のみで操作する VR システムについての研究を行った。小野ら [7] は、眼球運動の評価アプリケーションに、HMD と視線追跡を使用することで、眼球運動の定量的な評価を可能にした。

VR 上でアイトラッキングとコントローラー操作を組み合わせる手法としては、柿沼ら [8] が、視線を使用して大まかなポインティングをし、そこからコントローラーの相対的な動きでポインターを操作するという 2D ポインティングの手法を提案している。しかし、この研究ではコントローラーはあくまで補助として使われるに留まっている。

このように、VR と視線を組み合わせる研究は様々な形で行われているが、視線を主たる手段とするものが多く、また、VR において視線を照準補助に使用するという手法は提案されていない。

本研究では、基本的な動きはコントローラーで行い、視線は照準の補助に用いる。本研究の目的は、違和感をあまり感じさせずに命中率を向上させ、その上で画面に余計な情報を必要としない照準補助手法の提案である。本研究で提案する手法は、条件を満たした際に標的に向かって弾が自動追尾するというものである。条件は、標的の当たり判定領域を多少拡張したものに、アイトラッキングで得た視線と、銃の射線が共に触れていたら、というものだ。これによって、照準が多少外れていても標的を注視していて、かつ、大まかな狙いをつけることができれば必ず弾が命中する、という挙動を実現する。

評価は、提案手法を使用した VR シューティングを作成した上で、被験者にプレイさせることで行う。提案手法を使用した場合と使用していない場合を両方ともプレイさせ、命中率等を計測したうえで、アンケートを行い、感覚的な面と客観的な面の両面で評価する。

実験の結果、本手法を使用した際の命中率の向上が確認でき、弾の自動追尾への違和感も、手法を使用していない場合とほぼ同程度であった。その上で手法には画面に付加が必要な情報が無

いため、本研究で目的とした、あまり違和感を感じさせずに命中率を向上させ、その上で画面に余計な情報を必要としない照準補助手法というものが実現できたと考えられる。

1.2 論文構成

本論文は全 4 章で構成する。2 章では提案手法について述べる。3 章では実験手法とその評価、および考察を行う。4 章では本研究のまとめを行う。

第 2 章

提案手法

本章では、提案手法について述べる。

本研究では、アイトラッキングを使用した照準補助の手法を提案する。照準が多少外れていても、標的を注視していて、かつ、大まかな狙いをつけることができているならば、必ず弾が命中するという照準補助手法である。標的に、ガンシューティングゲームにおいて通常標的に設定される当たり判定（以下、通常の当たり判定と呼称）とは別に、標的の見た目よりも少し大きな当たり判定を設定し、視線および銃の射線用の当たり判定（以下、拡張判定と呼称）とする。拡張判定に、アイトラッキングで得た両目の視線の左右いずれかと、射線が共に触れているときに弾丸が発射された場合、弾が標的を自動追尾する。

この手法を略図にあらわしたものが下記図 2.1 である。

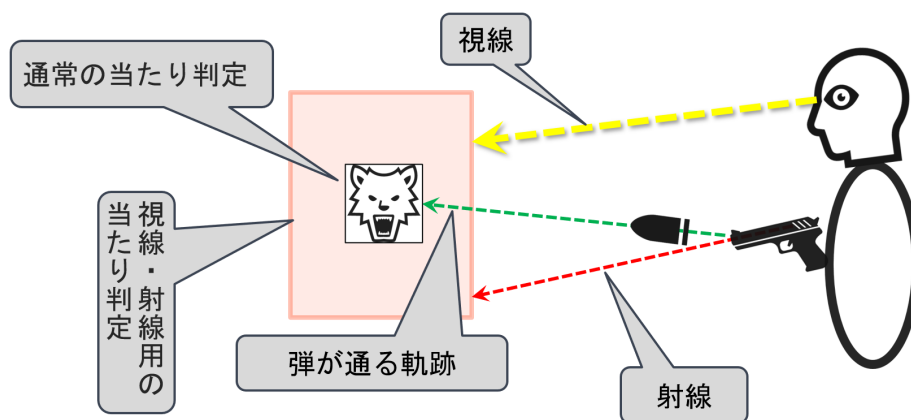


図 2.1 手法の略図

2.1 提案手法

本章では、使用した機材および Unity[9] を用いた提案手法の実装法についての説明を述べる。

2.2 機材

本研究で使用した機材は以下のとおりである。

- VIVE ベースステーション
- VIVE コントローラー
- VIVE トラッカー
- FOVE 0

VIVE ベースステーション [10] は、後述の VIVE コントローラーおよび VIVE トラッカーの、位置角度トラッキングを使用するための赤外線照射装置である。図 2.2 が稼働中の VIVE ベースステーションの外観である。



図 2.2 VIVE ベースステーション

VIVE コントローラー [10] は位置角度トラッキングおよびボタン入力を利用できる入力装置である。

今回の実装では、銃の移動と射撃に、VIVE コントローラーを使用した。図 2.3 が VIVE コントローラーの外観である。



図 2.3 VIVE コントローラー

VIVE トラッカー [11] は位置および角度をトラッキングできるトラッカーである。

今回の実装では視点の移動に VIVE トラッカーを使用した。図 2.4 が VIVE トラッカーの外観である。



図 2.4 VIVE トラッカー

FOVE 0[12](以下 FOVE と呼称) は、アイトラッキング機能の付いたバーチャルリアリティヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) である。

標準でアイトラッキングと HMD 角度のトラッキングが可能であり、モーショントラッカーを使用することでヘッドセットの位置トラッキングも可能である。図 2.5 が FOVE の外観である。



図 2.5 FOVE 0

2.3 トラッキング

本研究では FOVE と VIVE コントローラーを同時に使用するが、この 2 つのデバイスはトラッキング方式が異なるため、そのまま使用すると視点と銃の位置にズレが発生する。

以上の理由から、FOVE の位置角度トラッキング機能は使わずに、VIVE トラッカーを使用して HMD のトラッキングを行う。本研究では、視点の位置と角度を VIVE トラッカーと同期し、その上で FOVE に VIVE トラッカーを括り付けることによって、頭の移動と視点の移動を同期した。以下の図 2.6 は、VIVE トラッカーを FOVE に括り付けたものの外観である。



図 2.6 VIVE トラッカーを使用して FOVE の位置角度トラッキングを行うための機材

また、VIVE トラッカーや VIVE コントローラーは、本来 VIVE の HMD が無いと動かない。そこで今回は、【Unity】Vive の HMD なしに Tracker を使う [13] を参考にして、VIVE の HMD を接続せずに利用した。

2.4 検証用環境

本研究では Unity2019.4.7f1[14] を用いて検証用の VRFPS ゲームの環境を作成した。また、Unity のプラグインとして、以下のものを使用した。

- SteamVR plugin for Unity - v1.2.3
- FoveUnityPlugin v3.0.0

SteamVR plugin for Unity - v1.2.3[15] を、VIVE トラッカー及び VIVE コントローラーのトラッキングと入力に使用し、FoveUnityPlugin v3.0.0[16] は FOVE のディスプレイとアイトラッ

キングを使うために使用した。

本環境はアイトラッキングと 6Dof トラッキングを共に使用できる VRFPS 環境である。環境内で可能な操作は、視線の計測および HMD を動かすことによる視点の移動および VIVE コントローラによる銃の操作である。VIVE コントローラのトリガーを引くことにより、コントローラと位置が連動した銃による射撃が可能となっている。この環境内では標的に対して提案手法を使用した射撃を行うことができる。

以下の図 2.7 は、今回の環境において提案手法を使用した際の情報を VRFPS 内で可視化したものである。各色の線が表すものは

- 黄色——視線
- 赤色——射線
- 緑色——弾の飛ぶ軌道

となっている。

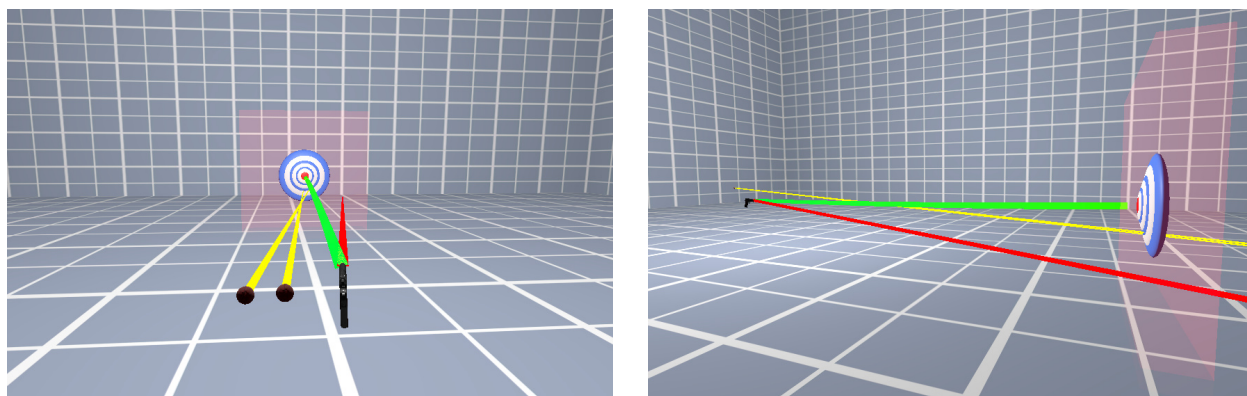


図 2.7 手法の実装図

2.5 標的と当たり判定

今回の実験に使用する標的はプリミティブ立体を組み合わせて作成した。以下の図 2.8 が作成した標的である。



図 2.8 標的

また、今回の実装では拡張判定を、標的の約 1.5 倍の大きさの直方体と設定した。以下の図 2.9 の赤色の部分が拡張判定である。

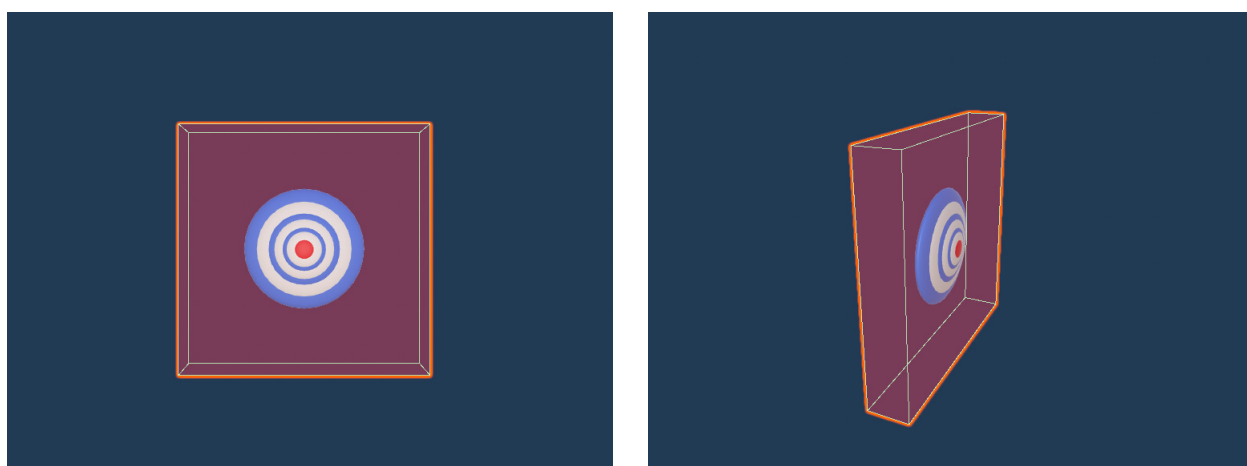


図 2.9 拡張判定を可視化した標的

2.6 誘導アルゴリズム

今回の実装での誘導アルゴリズムは、誘導ミサイル完全マスター [17] を参考にした。弾から標的に向けた加速度を毎フレーム毎に計算し、弾の速度に足すことで、必ず標的に当たるような挙動を作成した。

加速度 \mathbf{A} は以下の式 2.1 で求めた。

$$\mathbf{A} = \frac{2(\mathbf{d} - \mathbf{v}t)}{t^2}. \quad (2.1)$$

ここで、 \mathbf{d} は弾から標的へのベクトル、 \mathbf{v} は現在の速度ベクトル、 t は標的に当たるまでの時間とし、 t は弾の生成時に初期値を設定する。 t を毎フレーム経過時間分だけ減らしていくことにより、指定秒数経過後に必ず標的の位置に移動する。

第 3 章

評価

本章では、本研究の提案手法を評価するために行った評価実験について述べる。3.1 節では、実験内容について述べる。3.2 節では、本研究の提案手法を用いた実験結果について述べる。3.3 節では、実験結果から得られた考察を述べる。

3.1 実験内容

本研究の評価実験として、本論文で述べた照準補助手法を使用した場合と、使用しない場合とで、命中率や照準時間に差異はあるかを検証した。また、照準補助を使用した際に弾が射線とは違う方向へ飛んでいくが、それに対する違和感があるかをアンケートを使用して検証した。

2.4 節で述べた検証用環境を用いて実験を作成した。2.5 節で述べた標的を被験者の前方に特定個数設置し、特定個数の標的に命中するまでの時間と命中率を計測するというものである。今回の実験では全体の個数は 30 個とし、一度に出現するのは 3 個ずつとする。また、15 個を境界として出現法則を変化させる（以下 15 個目までをフェーズ 1 とし、16 個目以降をフェーズ 2 とする）。フェーズ 1 では標的は被験者の前方 3 か所付近のみに出現する。その範囲を表した図が図 3.1 である。フェーズ 2 では被験者の前方 3 ヶ所に加え、前方 45 度方向 2 ヶ所付近にも出現する。その範囲の図が図 3.2 である。フェーズ 2 では全 5 ヶ所の中からランダムで 3 つずつ別の範

囲に出現する。

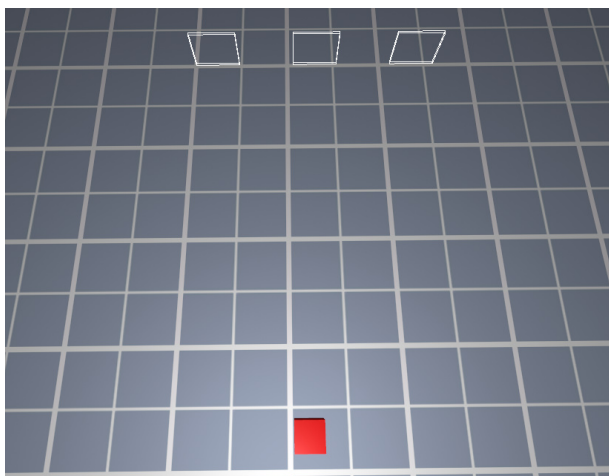


図 3.1 フェーズ 1 の出現範囲

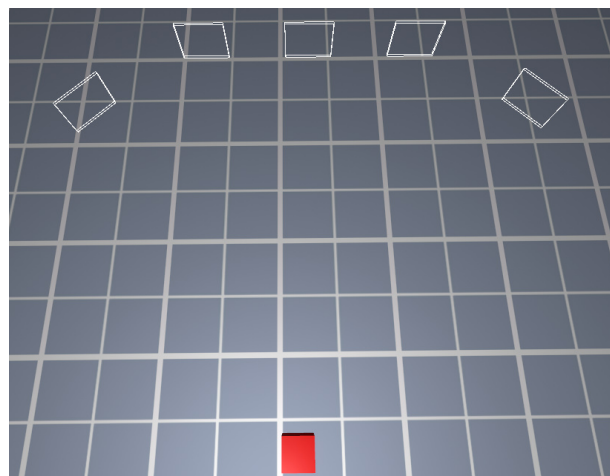


図 3.2 フェーズ 2 の出現範囲

上記実験を、提案手法を使用した場合（以下、手法条件下）と、使用しない場合（以下、無手法条件下）で1回ずつ行う。この時、現在どちらの状態なのかは被験者に伝えずに実験を行う。実験は以下のような手順で行う。

1. 最初にどちらの実験を行うかをランダムに選択する
2. 操作と実験内容の説明をする
3. VR の操作に慣れてもらうために、1分ほど自由な操作時間を与える
4. フェーズ1及びフェーズ2を選択した条件下で行う
5. 終了後、1分ほどの休憩を挟む
6. フェーズ1及びフェーズ2を選択しなかった方の条件下で行う
7. 終了後、アンケートを記入する

また、1番目に手法条件下でプレイした被験者を1群とし、2番目に手法条件下でプレイした被験者を2群とする

3.1.1 アンケート内容

この項では、アンケートの内容を述べる。また、アンケートは1群と2群で同じものを使用し、集計のみを分けて行った。

①先にやった方と後にやった方で、命中率は変化したと感じましたか。

- 1. 全く変化を感じなかった
- 2.
- 3.
- 4. とても変化を感じた

②先にやった方と後にやった方、どちらの方が弾が当たっていると感じましたか。

- 先にやった方
- 後にやった方

③先にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか。

- 正確
- やや正確
- あまり正確でない
- かなり外れている

④後にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか。

- 正確

- やや正確
- あまり正確でない
- かなり外れている

まず、設問①及び設問②で被験者の体感的な命中率に差異はあるかを検証する。その後、設問③及び設問④で、提案手法が適用された際の弾の誘導に、違和感を覚えるかの検証をする。

3.1.2 取得ログ内容

実験中の経過時間や命中率を計測し、ログデータとして出力する機能を実装した。計測したデータを次に示す。

- 経過時間
- 射撃回数
- 命中回数
- 命中率

3.2 実験結果

今回の実験では、1群の被験者が5名、2群の被験者が5名となった。

3.2.1 アンケートによる主観評価

本項では、アンケートの結果及び分析を述べる。1群のアンケート結果を次の表3.1に、2群の結果を表3.2に示す。

表 3.1 1 群の被験者によるアンケート

先にやった方と後にやった方で、命中率は変化したと感じましたか	回答数
感じなかった 1	1
2	1
3	2
とても変化を感じた 4	1
先にやった方と後にやった方、どちらの方が弾が当たっていると感じましたか	回答数
先	3
後	2
先にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか？	回答数
かなり外れている	0
あまり正確でない	0
やや正確	4
正確	1
後にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか？	回答数
かなり外れている	0
あまり正確でない	1
やや正確	4
正確	0

表 3.2 2 群の被験者によるアンケート

先にやった方と後にやった方で、命中率は変化したと感じましたか	回答数
感じなかった 1	1
2	0
3	2
とても変化を感じた 4	2
先にやった方と後にやった方、どちらの方が弾が当たっていると感じましたか	回答数
先	1
後	4
先にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか？	回答数
かなり外れている	0
あまり正確でない	0
やや正確	5
正確	0
後にやった方の、弾の方向と銃口との対応はどのように感じましたか？	回答数
かなり外れている	0
あまり正確でない	0
やや正確	3
正確	2

命中率の変化の項目では、1 群と 2 群いずれも命中率の変化を感じたという結果になった。提案手法と従来手法を比べた際にどちらが当たったと感じたかの項目では、1 群は提案手法の方が命中率が高いという割合が 60 %であった、2 群では提案手法の方がより命中率が高いという割合が 80 %であった。

銃口と弾の方向の対応についての項目では、1 群 2 群いずれも、提案手法を使用した際には対応が正確であるとの回答が多くみられた一方で、提案手法を使用していない場合は、やや正確という回答が大半を占めた。

3.2.2 数値計測による客観的評価

本項では、実験のログ取得の結果及び分析を述べる。1群の計測結果を表3.3に、2群の計測結果を表3.4に示す。表では、先に行った手法を左に、後に行った手法を右に配置した。

表 3.3 1群被験者の計測データ

		提案手法	従来手法
被験者 A	経過時間	38.1 秒	47.9 秒
	射撃回数	39 回	57 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	76.9 %	52.6 %
被験者 B	経過時間	58.3 秒	50.2 秒
	射撃回数	48 回	48 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	62.5 %	62.5 %
被験者 C	経過時間	38.3 秒	42.1 秒
	射撃回数	33 回	37 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	90.9 %	81.1 %
被験者 D	経過時間	42 秒	42 秒
	射撃回数	38 回	55 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	78.9 %	54.5 %
被験者 E	経過時間	77.2 秒	44.9 秒
	射撃回数	35 回	42 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	85.7 %	71.4 %

表 3.4 2 群被験者の計測データ

		従来手法	提案手法
被験者 F	経過時間	39.01 秒	25.67 秒
	射撃回数	50 回	31 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	60 %	96.8 %
被験者 G	経過時間	40.06 秒	36.13 秒
	射撃回数	44 回	41 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	68.2 %	73.2 %
被験者 H	経過時間	57.55 秒	38.48 秒
	射撃回数	96 回	52 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	31.3 %	57.7 %
被験者 I	経過時間	44.71 秒	43.46 秒
	射撃回数	68 回	66 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	44.1 %	45.5 %
被験者 J	経過時間	46.93 秒	43.33 秒
	射撃回数	39 回	37 回
	命中回数	30 回	30 回
	命中率	76.9 %	81.1 %

1 群と 2 群いずれも、提案手法を使用した際には、命中率が上がる傾向にある。また、2 群では全てのデータで提案手法を使用した際の経過時間が短いのに対し、1 群では被験者によってどちらの経過時間が短いかにばらつきが存在する。

1 群と 2 群を通して、被験者によっての個人差が大きく、命中率が大きく上がる被験者や、逆に全く変化が無い被験者も確認できた。

3.3 考察

実験の結果、1 群及び 2 群のいずれの場合も、おおむね命中率の向上が見られた。また、アンケートによる評価では、提案手法を使用した場合には、従来手法に比べて弾の命中率が上がったと感じられている。そして、弾の方向と銃口の対応は、おおむね正確であるという回答が多いため、提案手法を使った際の誘導による銃口の向きと弾の方向の差異は、あまり認識されていないことが分かった。以上の結果から、本研究で目的とした、あまり違和感を感じさせずに命中率を向上させる照準補助手法というものが実現できたと考えられる。

しかし、計測評価において、全くと言っていいほど、提案手法と従来手法に差がない被験者も存在した、これは、目線を合わせることができていないか、或いはアイトラッキングが上手く働いていなかったことが考えられる。そこで、提案手法と従来手法の結果の差異が少ない被験者の一人である被験者 D に、実験後「射撃の際に視線を標的に向けていたか」と質問したところ、射撃の際には標的から目をそらしていたとの回答があった。

また、提案手法を使用していない状態では、銃口と銃弾の対応は必ず正確であるにもかかわらず、アンケートの銃口と銃弾の対応に関する質問に、やや正確という回答が多く存在した。これは、銃口と弾の方向がプレイヤーにはあまり意識するものではないからではないかと考えられる。

提案手法を使用した際に銃口の向きと弾の飛ぶ方向が違っていても、それがあまり認識されなかったのは、銃弾の速度や、有効視野が関係しているのではないかと考えられる。速度については、誘導が働く際には標的に対して 0.3 秒ほどで命中するように今回の実験では設定した。そのため、銃口との対応といったものを認識する前に弾が標的に命中しているのではないか。

有効視野とは視野の内、注視している際に詳細な情報を認識できる範囲のことである。一般に見えている範囲全てのことを指す視野とは違い、状況次第で変化し、その角度は最大で 20 度ほどだとされている [18]。VR での視界や視野については杉山 [19] や原田ら [20] によって研究がなさ

れている。

VR ガンシューティングゲームにおいて、照準の際には標的を注視する事が多い。その際の有効視野を標的を視野の中心として直径 20 度と仮定すると、その範囲はかなり狭い。射撃の際にその範囲より外側に銃があった場合、発射された弾が標的への自動追尾により銃口と違う向きへ飛ぶ際にも、認識されにくいのではないだろうかと考察する。

第 4 章

まとめ

本研究では、VR シューティングゲームにおけるアイトラッキングを使用した照準補助手法の提案を行った。

実験の結果、本手法を使用した際の命中率の向上が確認でき、弾の自動追尾への違和感も、手法を使用していない場合とほぼ同程度であるため、本研究で目的とした、あまり違和感を感じさせずに命中率を向上させる照準補助手法というものが実現できたと考えられる。

一方、本研究では、既存手法と比較した際の命中率および違和感の差異に主眼を置いたため、通常の当たり判定と拡張判定の大きさの最適な比率のような、手法自体の最適化については研究しきれていない。また、実験結果を考察する中で、有効視野が自動追尾時の違和感に関係しているのではないかという仮説が生じたため、これについても検証する必要があるだろう。

今後の展望として、腰撃ちや振り向き撃ちといった、射撃の態勢やシチュエーションを指定した実験を行い手法の更なる有効性を検証していきたい。また、本研究は拳銃を射撃道具として実験を行ったが、射撃道具が魔法の杖や、手からエネルギー弾が出るというようなファンタジー的なものだった場合違和感に差が生じるか、といった手法の適性の特定を、合わせて行っていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって学部3年生の頃から多くの指導をいただきました渡辺大地教授、ギリギリまで面倒を見て頂いた阿部 雅樹先生、また、実験に協力してくださった学生の皆様に深く感謝の意を示します

参考文献

- [1] 総務省. 情報通信白書 第1部 特集 人口減少時代のICTによる持続的成長 第1節世界と日本のICT市場の動向. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111350.html>. 参照: 2020.12.27.
- [2] 辰也菅沼, 祥央兼松, 浩司三上. VR型FPSゲームにおける視線と視野角に応じた敵AIの動的調整に関する研究. Technical Report 18, 東京工科大学, 東京工科大学, 東京工科大学, oct 2019.
- [3] 朋来村田, 浩志盛川, 撰小宮山. VR空間における視線入力に関する基礎的検討. Technical Report 22, 青山学院大学理工学研究科理工学専攻知能情報コース, 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科, 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科, mar 2018.
- [4] 佐藤卓, 田野俊一, 橋山智訓, 市野順子, 岩田満. 3次元視線移動システムを用いたVR内での空中テレポーテーションの提案. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 36, pp. 139–142, 2020.
- [5] 撰小宮山, 真吾亀川, 育柿沼, 浩志盛川. VR空間内におけるアバタとの視線コミュニケーション. Technical Report 4, 青山学院大学, 青山学院大学, 青山学院大学, 青山学院大学/現所属: 早稲田大学, jun 2018.
- [6] 大和三浦. 身体障害者に適したVRユーザーインタフェースの研究. 法政大学大学院紀要. 理

工学・工学研究科編, Vol. 60, pp. 1–6, mar 2019.

- [7] 明大小野, 正嗣菅野, 隆博谷, 充史関本, 英生桑原, 隆太竹島, 進一高畑, 和代中岡. 眼球運動の向上を目指した視線追跡を用いた VR アプリケーションの開発. Technical Report 18, 大阪府立大学現代システム科学域, 大阪府立大学大学院人間社会システム科学研究科, 株式会社かなえるリンク, 株式会社かなえるリンク, 株式会社かなえるリンク, 株式会社かなえるリンク, 大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科, 大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科, feb 2020.
- [8] 柿沼育, 小宮山摂. VR 空間における視線とコントローラを用いた 2D ポインティング手法の検討. 第 18 回情報科学技術フォーラム (FIT2019) 講演論文集, 2019.
- [9] Unity Technologies. Unity. <https://unity.com/ja>. 参照: 2020.12.26.
- [10] HTC. HTC VIVE. <https://www.vive.com/jp/>. 参照: 2020.01.12.
- [11] HTC. VIVETracker. <https://www.vive.com/jp/accessory/vive-tracker/>. 参照: 2020.01.19.
- [12] 株式会社 FOVE. FOVE. <https://fove-inc.com/>. 参照: 2020.12.27.
- [13] てんちょー. 【unity】Vive の HMD なしに Tracker を使う. <https://shop-0761.hatenablog.com/entry/2018/01/08/034418>. 参照: 2021.01.20.
- [14] Unity Technologies. Unity2019.4.7f1. <https://unity3d.com/jp/get-unity/download/archive>. 参照: 2021.1.20.
- [15] ValveSoftware. SteamVRpluginforUnity - v1.2.3. https://github.com/ValveSoftware/steamvr_unity_plugin/releases/tag/1.2.3. 参照: 2021.1.20.
- [16] 株式会社 FOVE. FoveUnityPlugin v3.0.0. <http://effekseer.github.io/jp/index.html>. 参照: 2020.07.12.
- [17] 安原祐二. 誘導ミサイル完全マスター. <https://learning.unity3d.jp/263/>. 参照:

2020.12.27.

- [18] 安弘瀬谷. 有効視野の特性とその測定手法. 光学, Vol. 42, No. 9, pp. 473–474, sep 2013.
- [19] 杉山直隆. 立体視ゲームにおけるアノテーションの視認性に関する調査. 修士論文, 東京工科大学大学院バイオ情報・メディア研究科メディアサイエンス専攻, 2012.
- [20] 原田佑規, 大山潤爾. バーチャルリアリティを用いた有効視野外の視覚探索に関する研究. 日本認知心理学会発表論文集, Vol. 2018, p. 131, 2018.