

VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究

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

栗原 亨輔

VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究

指導教員 渡辺 大地 教授

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

栗原 亨輔

論文の要旨

論文題目	VRでのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究
執筆者氏名	栗原 亨輔
指導教員	渡辺 大地 教授
キーワード	ゲーム、VR、操作補助、アイトラッキング、近接攻撃

[要旨]

敵と戦うタイプのゲームにおいて、近接攻撃は非常に多くのゲームで採用されているアクションである。それはHMDを用いたVRゲームでも変わらず、様々なゲームで導入されている。しかし、VRのアクションゲームにおける近接攻撃は、一般的な非VRのアクションゲームの近接攻撃と比べて、標的に命中させることが難しい。非VRゲームでの近接攻撃は、操作キャラクターが敵の近くに存在し、かつ、敵の方を向いている、という2つの条件さえ満たしていれば概ね命中する。対して、VRゲームでは前述の2条件に加え、VRコントローラーを実際に手に持って動かし、近接攻撃を当てたい箇所に動かすという操作が必要になるからである。特定部位を狙うことは元来難しいことであるが、その中でも、大量に敵が出てくるようなVRゲームや、ゲームスピードが速いVRゲームでは輪をかけて難しくなる。

そこで本研究では、視線を利用した、VRゲームで特定箇所を近接攻撃する際の補助手法を提案する。

標的箇所の3Dモデルより大きな判定を、視線及び攻撃検知用の判定として設定し、視線及び攻撃検知用判定に、両目の視線のどちらかと攻撃が共にぶつかった時、大まかに狙いがあると判定し、攻撃の補正を開始する。攻撃の補正は攻撃の基部となるトラッキングされた手に対して行い、手の位置と角度を、攻撃が標的箇所に当たるように移動・回転する。これらの補正により標的箇所への命中を補助する。手法の有効性の調査として、手法を適用していないときと適用した時を順にプレイする実験用ゲームを作成した。被験者にプレイしてもらい、アンケートに回答してもらった。結果、補正による違和感はそれほど強く感じないこと、及び、補正時には命中率が向上することが確認できた。この結果から、提案手法はピンポイント近接攻撃の命中補助に一定の有効性があることがわかった。

A b s t r a c t

Title	Assisting pinpoint melee attacks in VR
Author	Kyousuke Kurhara
Advisor	Taichi Watanabe
Key Words	Game,VR, Drop formalities,Eye tracking,Melee attacks

[summary]

In enemy-fighting type games, melee attack is an action that is employed in a great many games. This is no different in VR games using HMDs, which have been introduced in a variety of games. However, melee attacks in VR action games are more difficult to hit a target than melee attacks in general non-VR action games. Melee attacks in non-VR games generally hit their targets as long as two conditions are met: the character in control is near the enemy and is facing the enemy. In VR games, on the other hand, in addition to the above two conditions, it is necessary to actually hold the VR controller in the hand, move it, and move it to the point where you want to hit with a melee attack. Aiming at a specific area is difficult by nature, but it is even more difficult in VR games with a large number of enemies or in VR games where the game speed is fast.

In this study, we propose a method for assisting the player to aim at a specific point in a VR game by using the line of sight.

When either of the two eyes of the target collides with the attacker's gaze, the attacker judges that the target is roughly on target and starts compensating for the attack. The correction of the attack is performed on the tracked hand that is the base of the attack, and the position and angle of the hand are moved and rotated so that the attack hits the target point. These corrections assist in hitting the target. To investigate the effectiveness of the method, we created an experimental game that was played without and with the method in order. Subjects were asked to play the game and answer a questionnaire. As a result, it was confirmed that the subjects did not feel the discomfort caused by the correction so strongly, and that the hit ratio improved when the correction was applied. These results indicate that the proposed method has a certain effectiveness in assisting the hit rate of pinpoint melee attacks.

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	2
1.2	論文構成	5
第 2 章	ゲームにおける操作補助	6
2.1	非 VR ゲームにおける操作補助	7
2.1.1	自動ロックオン	7
2.1.2	エイムアシスト	7
2.2	VR ゲームにおける操作補助	7
2.2.1	判定の拡大	8
2.2.2	吸い付き	8
2.3	VR での近接攻撃について	9
第 3 章	提案手法	11
3.1	補正対象	12
3.2	本研究における攻撃	12
3.3	アイトラッキング	13
3.4	大まかな狙い	14
3.5	標的箇所と拡張判定	15
3.6	補正手法概略	15
3.7	補正の終了条件	17
第 4 章	動作検証	18
4.1	使用機材	19
4.2	検証用環境	19
4.3	実装	19
4.4	手法の検証と考察	20

第5章	評価実験	26
5.1	実験内容	27
	5.1.1 アンケート内容	28
	5.1.2 取得ログ内容	29
5.2	実験結果	29
5.3	考察	31
第6章	まとめ	33
	謝辞	35
	参考文献	37
	発表実績	41

目次

1.1	ソード・オブ・ガルガンチュア 2018 より弱点の例	3
2.1	Yomuneco Inc. ソード・オブ・ガルガンチュア 2018 より判定の拡大の例	8
2.2	The Lab より吸い付きの使用例	9
3.1	補正した際の攻撃が通る軌道のイメージ	12
3.2	攻撃判定と攻撃の基部のイメージ	13
3.3	アイトラッキングで読み取れる情報の例	13
3.4	横・上から見た視線が拡張判定に当たっている時の図	14
3.5	狙いがあるかの判定イメージ	15
3.6	正面・斜めから見た拡張判定	15
3.7	A,B,V のイメージ	16
3.8	補正のイメージ	17
4.1	今回武器として使用したモデル	20
4.2	検証用環境	20
4.3	検証用環境を上から見た際のイメージ図	21
4.4	標的位置に対して余り離れていない場合の例 1	22
4.5	標的位置に対して余り離れていない場合の例 2	23
4.6	標的位置に対して大幅に外れている場合の例 1	24
4.7	標的位置に対して大幅に外れている場合の例 2	25
5.1	フェーズ 1 の出現範囲	27
5.2	フェーズ 2 の出現範囲	27

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

敵と戦うタイプのアクションゲームにおいて、攻撃アクションは非常に多くのゲームで採用される基礎的なアクションである。それは近年普及し始めている、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を用いた VR ゲームでも変わらず、様々なゲームで攻撃アクションは存在する。しかし、VR ゲームにおける攻撃は、非 VR ゲームの攻撃と比べて、標的に命中させることが難しい。これは、銃などの遠隔攻撃と、剣で斬るといった近接攻撃の双方に存在する問題である。非 VR ゲームでの遠隔攻撃は、FPS や TPS の場合、照準をマウスやコントローラーで操作して敵と重ねた状態で撃てばおおよそ命中する。近接攻撃であれば、操作キャラクターが敵の近くに存在し、かつ、敵の方を向いている、という 2 つの条件さえ満たしていれば概ね命中する。対して、VR ゲームではプレイヤーキャラクターの操作にトラッキングされた HMD と VR コントローラーを使用し、頭と手の動きを現実世界と同期する形態が一般的である。そのため、攻撃を当てる際には前述の 2 条件に加え、VR コントローラーを実際に手に持って動かす、照準操作や近接攻撃を当てたい箇所に動かすという操作が必要になるため、攻撃を命中させることが難しいといえる。Farmani ら [1] は、遠隔攻撃の場合、マウス・コントローラー操作と比較して、VR コントローラー操作は命中率が低いという検証結果を示した。

そして、VR ゲームにおける攻撃は、当たったときの敵の部位によって、その攻撃の有効度を変化させることがある。例えば人型の敵ならば、頭を攻撃するとダメージを多く与えられる、盾を持っている敵の盾を攻撃するとダメージが減衰する、といったものだ。ソード・オブ・ガルガンチュア [2] では、敵ごとに設定された弱点を攻撃すると与えるダメージが増加する。図 1.1 はソード・オブ・ガルガンチュアで使われている弱点の例である。青い部分が弱点として設定されている。特定部位を狙って攻撃を当てる操作は元来難しいものであるが、その中でも、多数の敵と一度に相対する VR ゲームや、ゲームスピードが速い VR ゲームでは輪をかけて難しくなる。

VR に限らず、ゲームでプレイヤーに特定のことをさせるための補助システムは数多く存在す



図 1.1 ソード・オブ・ガルガンチュア 2018 より弱点の例

る。様々なシューティングゲームで照準を補助して簡単に敵を狙うことができるエイムアシストは使われている。ゴッドオブウォーIII [3] や、原神 [4] といったアクションゲームでは、攻撃を当てやすくするために、敵が近くにいるときには自動的に敵の方を狙って攻撃する自動ロックオンシステムが使用されている。築瀬ら [5] はプレイヤーの操作に対して補正を加えることにより、誰でも上手なプレイができるジャンプアクションゲームを開発した。

こういった補助手法は、VR ゲームにおいても存在するが、近接攻撃に関する補助手法は提案されていない。

また、VR で期待が高まっている技術の一つにアイトラッキングがある。アイトラッキングとは、人間の視線や瞳孔の位置、動きなどを検知する技術である。VR は視界を覆う HMD を装着する都合上、視線を検知する技術であるアイトラッキングと相性が良い。Clay ら [6] は、VR に関する研究においてアイトラッキングは非常に有用であると示した。また、VR 空間内での視線ポインティングは、VR コントローラー等のモーショントラッキングデバイスを使用する手法に比べ、高速かつ直感的であることが、Tanriverdi ら [7] によって明らかにされている。そのため、VR において視線を活用しようとする試みは多くある。井上 [8] は VR 環境内で視線を計測することで、空間把握能力と視線の関係について明らかにした。菅沼ら [9] は VRFPS ゲームにおいて、視線を利用したゲーム難易度の調整を提案した。佐藤ら [10] は、VR 内における空中テレポート移動の終着点の指定に視線を利用した。宮下ら [11] は、視線入力インターフェースを使用することで VR への没入感の上昇を図った。小宮山ら [12] は、VR 内でアバターとのコミュニケーションの

ための操作に視線を使用することで、不自然さの低減ができる事を明らかにした。柿沼ら [13] は、視線とコントローラを組み合わせた 2D ポインティング手法を研究した。内村ら [14] は視線や瞼などの動きを VR 内の操作に使用する手法を研究した。VRHMD において注視点のみを高解像度で描画することにより、負荷の軽減と高解像度の実現を両立する foveated rendering[15] という技術も存在する。

近年の VRHMD では、FOVE0[16](2017) のようなゲーム開発者向けの機器のみならず、VIVEProEye[17](2019) や PlayStationVR2[18](2023) のような一般消費者に向けた機器であってもアイトラッキング機能が搭載される事が増えている。また、VR ゲームにおいてもアイトラッキング機能を使用できるゲームがある。VR シューティングゲームである Rez Infinite[19] では、視線を使用して敵をロックオンする機能がある。VR コミュニケーションゲームである VRChat[20] や VirtualCast[21] では、アバターの眼をプレイヤーの向いている方向へと動かすことで、よりリアルなコミュニケーションを実現している。

このように VR でのアイトラッキングの活用は多々あるが、ゲームにおける攻撃の補助という面からの研究はあまりなされていない。

先に述べた通り、VR における近接攻撃は当てるのが難しく、中でもピンポイント攻撃はより困難である。また、非 VR ゲームの操作補助手法を VR ゲームに適用することは、VR ゲームと非 VR ゲームでの近接攻撃のための操作が違うことから難しい。そして、VR における近接攻撃を命中させるための補助手法は研究がなされていない。

そこで本研究では、視線を利用して VR ゲームにおける特定箇所への近接攻撃の命中率を向上させる手法を提案する。プレイヤーの狙いが大まかに合っていた場合に攻撃の挙動を補正し、プレイヤーが狙っている特定箇所へ当たるようにする手法である。

本研究では「大まかに狙いがあっている」の定義として、プレイヤーが狙っている箇所（以下、「標的箇所」と呼称）そのものには攻撃が当たらないが、その付近を攻撃が通るような動きが予想できる状態のことを大まかに狙いがあっているとす。本研究では、大まかに狙いがあっている

ことの判定はアイトラッキングと判定の拡大を利用して判定を行う。標的箇所の 3D モデルより大きな判定を、視線及び攻撃検知用の判定（以下、「拡張判定」と呼称）として設定し、拡張判定に両目の視線のどちらかと攻撃が共にぶつかった時、大まかに狙いがあると判定し、攻撃の補正を開始する。攻撃の補正は攻撃の基部となるトラッキングされた手に対して行い、手の位置と角度を、攻撃が標的箇所に当たるように移動・回転する。これらの補正により標的箇所への命中を補助する。

本研究の目的は、多数の敵と一度に相対する VR ゲームや、ゲームスピードが速い VR ゲームで、多少狙いが甘くてもピンポイント攻撃を行えるようにすることである。

1.2 論文構成

本論文は全 6 章で構成する。第 2 章では、既存ゲームにおける操作補助について説明する。第 3 章では提案手法について説明する。第 4 章では提案手法について行った検証について説明する。第 5 章では検証を受けて行った実験について説明する。第 6 章では研究のまとめを述べる。

第 2 章

ゲームにおける操作補助

本章では、既存のゲームに使われている操作補助の事例を述べる。

2.1 非 VR ゲームにおける操作補助

コンピューターゲームにおいてプレイヤーの操作を補助するためのシステムは数多く存在する。ここでは、その一部を紹介する。

2.1.1 自動ロックオン

自動ロックオンとは、アクションゲームにおいて敵を攻撃する際に使われるシステムである。プレイヤーキャラクターの向いている方向と、敵のいる方向がずれている時に自動でプレイヤーキャラクターの向きを変更し、敵のいる方向に向けるシステムである。このシステムを使うことによって、精密な操作を行わなくても敵に攻撃を当てることが可能になる。

2.1.2 エイムアシスト

エイムアシストとは、1人称視点シューティングゲーム（以下 FPS）もしくは3人称視点シューティングゲーム（以下 TPS）において照準を補助するシステム全般を指す。代表的なものとして、敵の近くへ照準を向けると、吸いつくように敵の位置に照準が移動する手法がある。エイムアシストは、2DFPS においては Bateman らの研究 [22] により有効性が示され、3DPS においては、Moreira らの研究 [23] によって有効性が示された。

2.2 VR ゲームにおける操作補助

本節では、既存の VR ゲームに使われている操作補助の事例を述べる。

2.2.1 判定の拡大

判定の拡大は、3D モデルの形より大きな当たり判定を設定する補助方法である。VR 内でコントローラーを用いてオブジェクトを持つときの判定などに使用する。

図 2.1 はゲームにおける判定の拡大の使用例である。図中央の剣の柄と手の位置は離れているが、この状態でコントローラーのボタンを押すことでプレイヤーは剣を持つことができる。

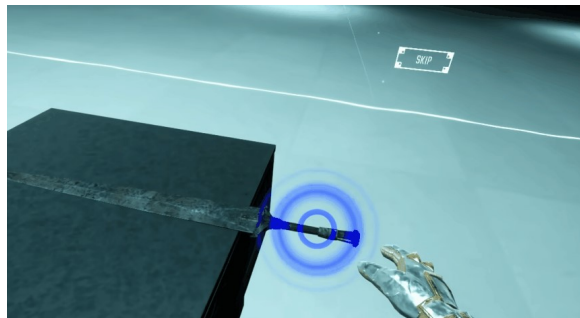


図 2.1 Yomuneco Inc. ソード・オブ・ガルガンチュア 2018 より判定の拡大の例

2.2.2 吸い付き

吸いつきは、コントローラーのトラッキングの一部を無視し、プレイヤーが行いたい動作に合わせてゲーム内のモデルを動作に適した位置に吸着するように移動させる補助方法である。VR 内でコントローラーを用いて、小さな押しボタンを押す、レバーを引く、銃のリロードをすといった、精密性を要求する特定の動作をプレイヤーにさせる場合に使用する。

図 2.2 は吸い付きの使用例である。図 2.2 において、プレイヤーはコントローラーを前方にのみ動かしている。図 2.2 上段の状態から、トラッキングされた手をそのまま前方に動かした場合「スタート」のスイッチにはぶつからない。しかし、吸いつきにより位置が補正されて「スタート」のスイッチにぶつかるように補正が行われている。

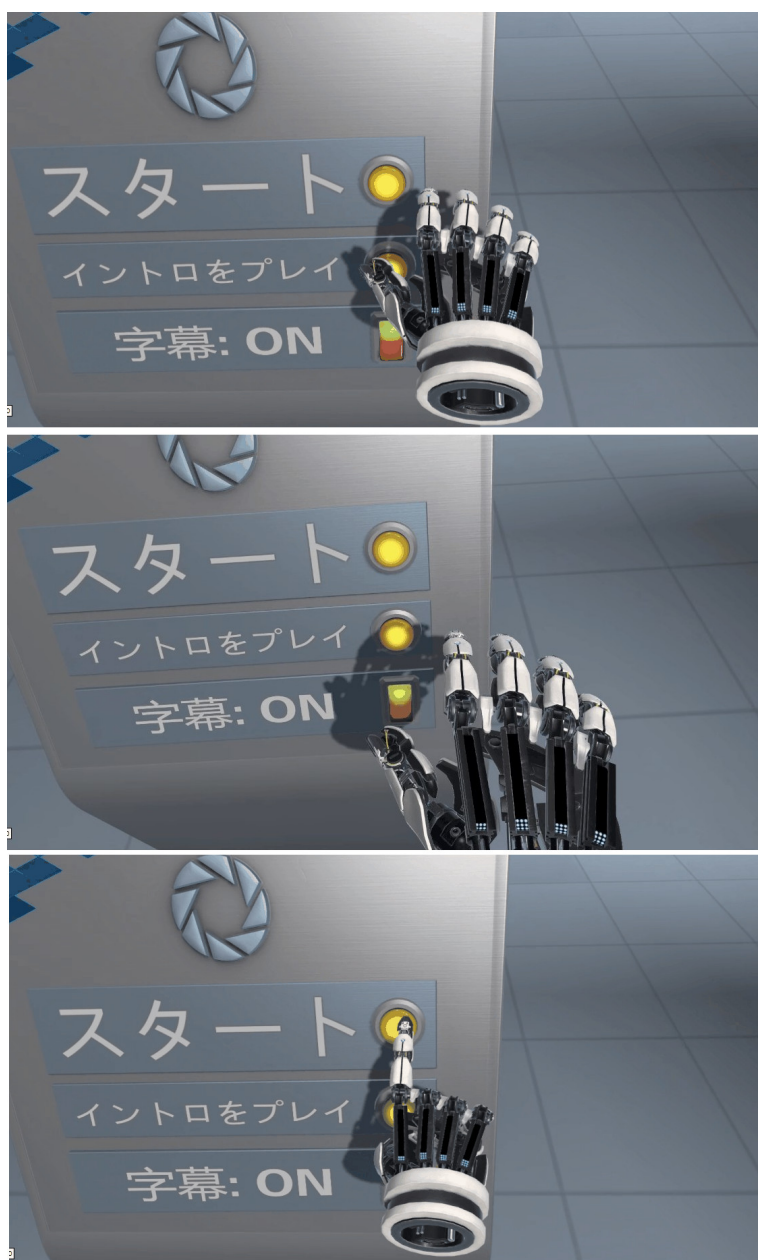


図 2.2 The Lab より吸い付きの使用例

2.3 VR での近接攻撃について

本章で言及したゲームにおける操作補助は、非 VR・VR の双方ともに、本研究の目的であるピンポイント近接攻撃の補助にはそのままで有効ではない。自動ロックオンは、身体の向きをシステム側で変えてしまう都合上、VR では視点がトラッキングに関わらず動いてしまうため、VR

酔いをする可能性が高いため、VR 出は扱いにくいシステムである。エイムアシストは遠隔攻撃用の手法であり、今回目的とする近接攻撃には適用することができない。判定の拡大に関しては、標的箇所の判定を大きくすることで命中補助に使うことは可能であるが、本研究では、ピンポイントに攻撃を当てるという体験をプレイヤーに与えることを目的としているため、標的箇所自体の衝突判定には適していない。吸いつきは、基本的にあまり動かない対象に対して使われる補助システムであり、移動対象に対しては使われない、移動対象に吸いつきを適用すると、プレイヤーの動きとキャラクターの動きが離れすぎる等の問題点がある、近接攻撃は移動対象に行うことが多いので、近接攻撃の補助にはあまり有効ではない。

第 3 章

提案手法

本章では提案手法について説明する。本手法は、VR ゲームにおいて特定箇所を攻撃する際に、その攻撃をプレイヤーが狙った箇所（以下、「標的箇所」と呼称）に当たるよう補助を行うものである。まず、攻撃動作の際に、プレイヤーの狙いが大まかにあっているかどうかを判定する。大まかに合っていた場合、トラッキングとプレイヤーキャラクターの同期を一時的に解除する。次に、攻撃動作を標的箇所に当たるように補正する。その後、攻撃動作が終了したタイミングでトラッキングを再同期する。図 3.1 は手法の挙動イメージである。

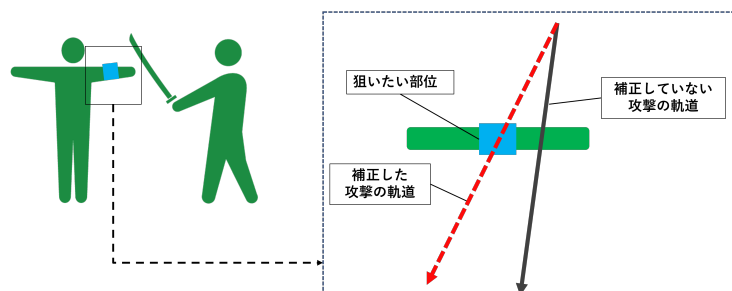


図 3.1 補正した際の攻撃が通る軌道のイメージ

3.1 補正対象

本手法では、補正は手の位置と角度に対して行う。VR ゲームでは、一般的に手に対してトラッキングを行い、Inverse Kinematics[24] を使用して腕を動かす。また、武器及び攻撃も手の動きと連動して移動する。そのため、手の位置と角度に補正をかけることが最も合理的である。

3.2 本研究における攻撃

本研究で手法の対象とする近接攻撃は、武器を使って対象を斬る攻撃とする。ここで言う斬るとは標的箇所に対して上下左右方向から攻撃判定をぶつける動作を指す。本研究では、プレイヤーが攻撃しようと考えて行う一連の動作を、攻撃動作と定義する。また、攻撃判定を、剣状の 3D モデルの刃部分の領域とする。また、トラッキングして操作を行う武器を持った手の部分を、攻撃の基部と定義する。図 3.2 は攻撃判定と攻撃の基部のイメージである。

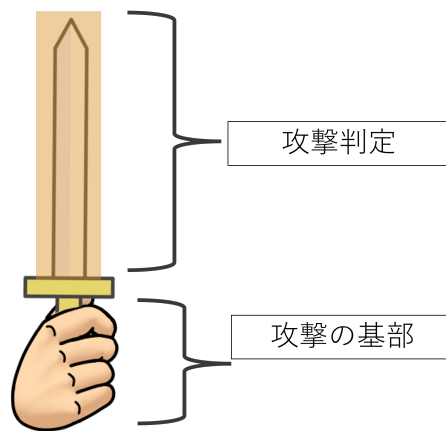


図 3.2 攻撃判定と攻撃の基部のイメージ

3.3 アイトラッキング

アイトラッキングとは、人間の視線や瞳孔の位置、動きなどを検知する技術である。瞳孔の位置と視線を読み取ることで、間接的にどこを注視しているのか等を読み取ることができる。図 3.3 はアイトラッキングで読み取れる情報を可視化したものである。アイトラッキングを行うための

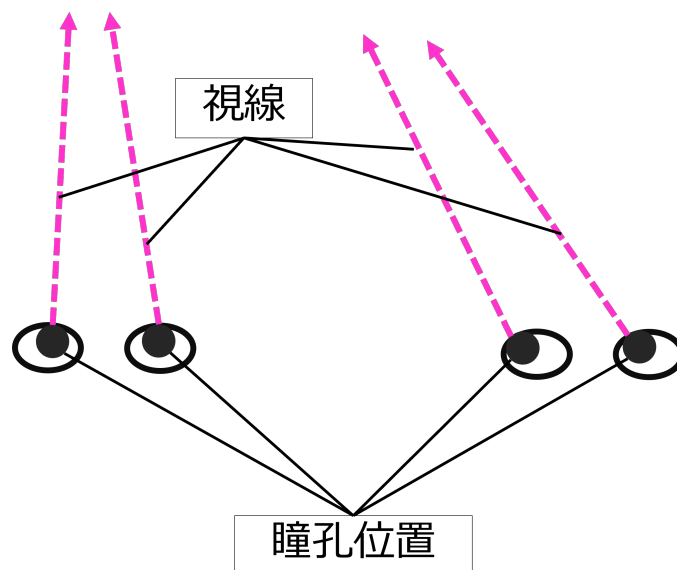


図 3.3 アイトラッキングで読み取れる情報の例

手法としては、眼球にレンズを取り付けて読み取る方法 [25] や、眼の周囲の筋肉に電極を配置し、その電位から測定する方法 [26]、及び眼をカメラで撮影し、画像解析によって光学的に読み取る手法 [27] がある。その中でも画像解析によるアイトラッキングは、いくつかの VRHMD に搭載されている。本研究では、アイトラッキング機能の搭載された HMD を使用して、視線の位置と向きを手法において使用した。

3.4 大まかな狙い

大まかに狙いがあるかどうかの判定はアイトラッキングと判定の拡大を用いて行う。ピンポイント攻撃で狙う部位に、通常の当たり判定より大きな当たり判定を設定し、視線及び近接攻撃検知用の当たり判定（以下、「拡張判定」と呼称）とする。アイトラッキングで得た両目の視線の左右いずれかが拡張判定に触れている状態で、拡張判定の範囲に攻撃判定が触れた場合に、大まかに狙いが合っていると判定する。図 3.4 は視線の左右いずれかが拡張判定に触れている時のイメージ図である。



図 3.4 横・上から見た視線が拡張判定に当たっている時の図

図 3.5 は狙いがあるかの判定イメージである。

狙いがあるかの判定にアイトラッキングを併用する理由は、有効視野が関係している。有効視野とは、視野の内、注視時に詳細な情報を認識できる範囲のことである。瀬谷 [28] によれば、通常の視野の場合その範囲は最大で 20° 程だとされる。有効視野内に標的が入っていれば、その標的を狙っていると判断できる 1 要素になりうると考える。注視していかつ、標的の付近を攻撃が通る可能性が高いのであれば、大まかに狙いがあると判断する。

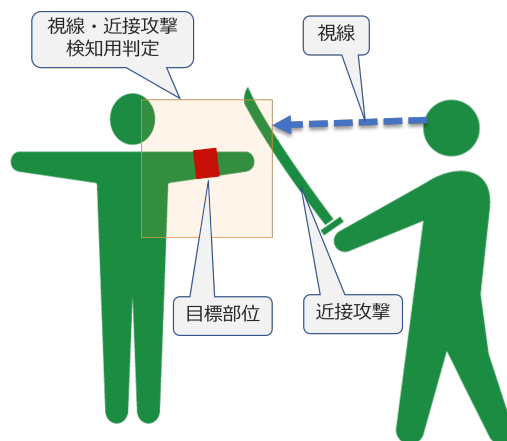


図 3.5 狙いがあるかの判定イメージ

3.5 標的箇所と拡張判定

標的箇所は直径 10cm ほどの立方体として設定する。拡張判定は標的箇所を中心とし、常にプレイヤーの視点を向き、プレイヤーからは見えない薄い直方体として設定する。図 3.6 は標的箇所と拡張判定の例である。



図 3.6 正面・斜めから見た拡張判定

3.6 補正手法概略

本節では、提案手法の補正手法の概略を述べる。補正手法は、拡張判定に攻撃判定が触れた瞬間 (以下、補正開始時とする) から有効化し、有効化後の攻撃の位置及び角度が標的箇所を通るように補正するものである。まず、補正後の攻撃の基部の位置ベクトルを \mathbf{P} とする。 \mathbf{P} は式 (3.1)

で求める。

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}' + \Delta_t \mathbf{V} \quad (3.1)$$

ここで \mathbf{P}' は補正開始時の、攻撃の基部の位置ベクトルを表し、 Δ_t は、補正開始時からのコントローラーの移動量を表すスカラー値である。また、 \mathbf{V} は補正開始時の攻撃判定と拡張判定の衝突位置の位置ベクトル \mathbf{A} と、標的位置の位置ベクトル \mathbf{B} より式 (3.2) で求める \mathbf{A} から \mathbf{B} を向く単位ベクトルである。

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{A}}{|\mathbf{B} - \mathbf{A}|} \quad (3.2)$$

図 3.7 は $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{V}$ のイメージである。

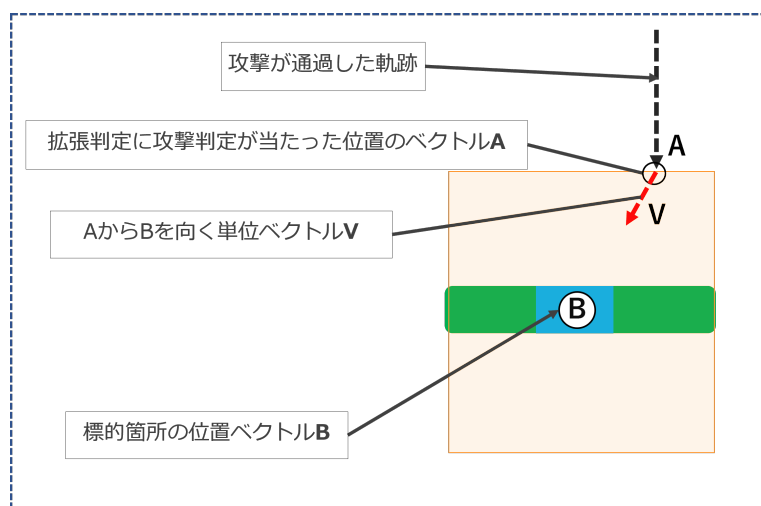


図 3.7 $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{V}$ のイメージ

次に、補正後の攻撃の基部の角度を設定する。まず、攻撃の基部から攻撃判定の先端へ向かうベクトルを切っ先ベクトルと定義する。1 フレーム毎に前フレームのコントローラーの四元数と、現フレームのコントローラーの四元数の差分を計算し、その差分の回転角度 θ を求める。そして、補正後の攻撃の基部の角度を、回転角度 θ の分回転軸 \mathbf{N} を基準に回転させる。これを補正開始後、毎フレーム行う。ここで \mathbf{N} は、補正開始時の切っ先ベクトル \mathbf{C} と \mathbf{V} より式 (3.3) で求めた

法線ベクトルである。

$$\mathbf{N} = \mathbf{C} \times \mathbf{V} \quad (3.3)$$

図 3.8 は補正のイメージである。検知用判定に攻撃が当たった位置から攻撃に補正がかかり、コントローラーの動きと連動しながら、標的位置 B に攻撃が当たるような挙動を行う。

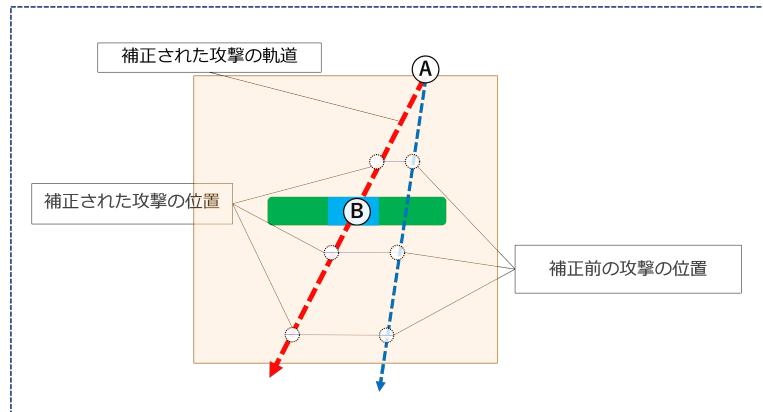


図 3.8 補正のイメージ

3.7 補正の終了条件

攻撃が終了した場合補正を終了し、トラッキングの再同期を行う。補正中に攻撃の速度が一定以下になった場合、及び、コントローラーの移動が補正の軌道から離れ過ぎた場合に攻撃が終了したと判定する。

トラッキングの再同期の際には、補正後の攻撃位置と無補正の攻撃位置で線形補間を行い、攻撃を滑らかに移動する。

第 4 章

動作検証

本章では本研究で行った検証について説明する。

4.1 使用機材

本研究には、アイトラッキングのできる VRHMD として VIVEPROEye[17] 一式を使用した。一式の内訳は以下のとおりである。

- VIVEProEye HMD
- VIVE コントローラ 2 個
- SteamVR ベースステーション 2 個

4.2 検証用環境

本研究では、Unity2020.3.26f1[29] を用いて検証用 VR アクションゲームの環境を構築した。また、Unity のプラグインとして SteamVRpluginforUnityv2.7.3(sdk 1.14.15)[30] を VRHMD の開発環境構築のために使用した。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可能な環境である。ゲーム内で可能な操作は、HMD による視点の移動及び視線の検知と、コントローラーによる手と武器の操作である。

4.3 実装

3.5 節で述べた標的と、斬る攻撃ができる武器及び提案手法を実装し、手法を試すことができる環境を作成した。今回の実装では、1cm× 1cm × 150cm のブロックを武器として使用した。図 4.1 は今回の環境で武器とした 3D モデルである。図の黄色い部分が攻撃判定である。また、今回の実装では拡張判定の大きさは標的の 8 倍の大きさと設定した。以上の実装をもって検証した様子が図 4.2 である。また、図 4.3 は検証用環境を上から見た際のイメージ図である。



図 4.1 今回武器として使用したモデル

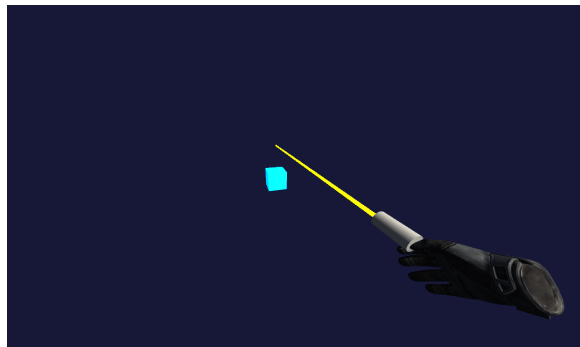


図 4.2 検証用環境

4.4 手法の検証と考察

図 4.2 の環境を用いて手法の動作の検証を行った。結果、手法を適用した際には、手法が中断されない限り必ず標的部位へ命中することが確認できた。また、標的位置に対して補正無しの攻撃の軌道があまり離れていないような動きをした場合は違和感が少なく思えた。図 4.4, 図 4.5 は標的位置に対して余り離れていないような動きの例である。

一方で、標的位置に対して補正無しの攻撃の軌道が大幅に外れているような動きをした場合、違和感がとても強くなる事が確認された。図 4.6, 図 4.7 は大幅に外れているような動きの例である。

また、図 4.4, 図 4.5, 図 4.6, 図 4.7 では説明用に無補正の場合の攻撃位置と拡張判定を可視化

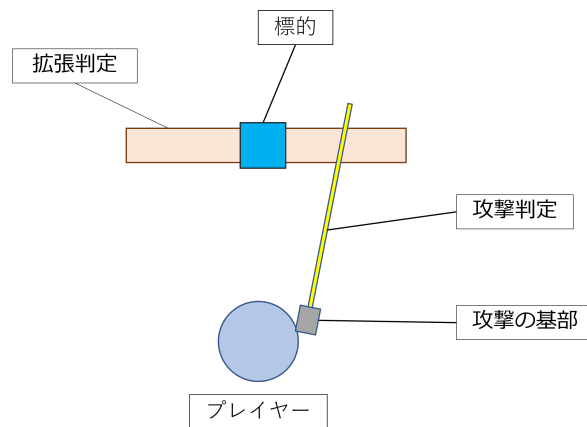


図 4.3 検証用環境を上から見た際のイメージ図

している。この結果から提案手法は、ある程度狙えている状況では本手法は有効に働く事がわかった。

一方で、特定の状況下では違和感が強くなることが判明した。違和感が強く働く原因は、標的位置に対して軌道が大幅に外れている場合も、大まかに狙えていると判断できる条件を満たしているのが原因ではないかと考えられる。この点は大まかに狙えていると判断する条件を今のものより厳格にすることで、違和感の発生を緩和できるのではないかと考えられる。考えられる追加の条件としては、入射角度がある。現在の大まかに狙えている判定の条件に、攻撃判定が拡張判定に当たる際の入射角度を求め、入射角度と標的位置が一定の角度以内の範囲にある場合というのを追加する。その場合、違和感が強く表出する状況での手法の適用を防ぐ事が期待できる。

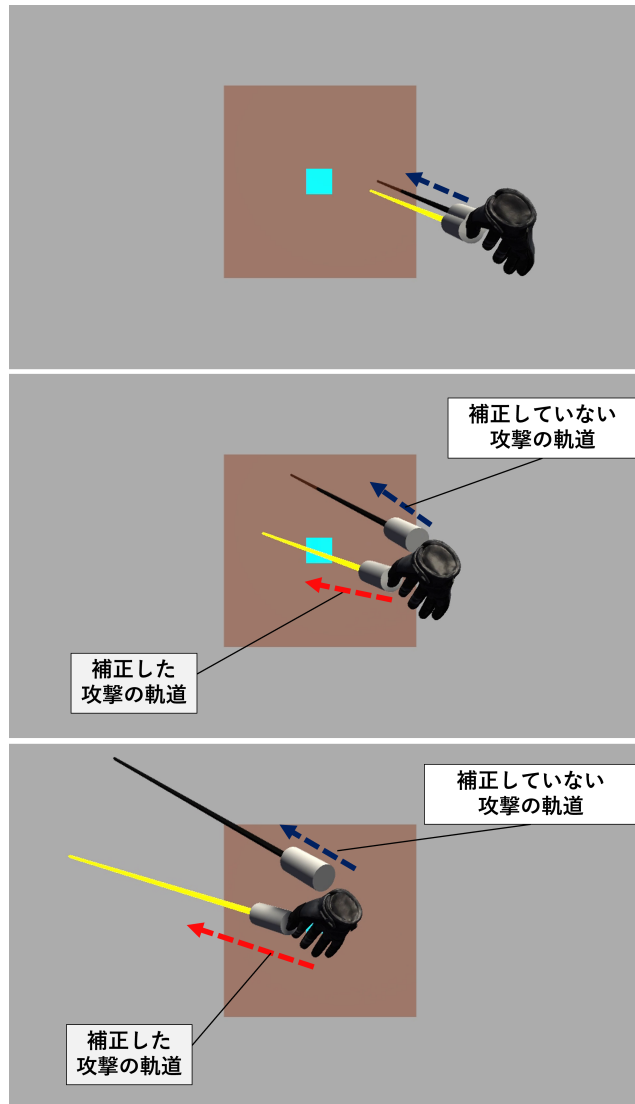


図 4.4 標的位置に対して余り離れていない場合の例 1

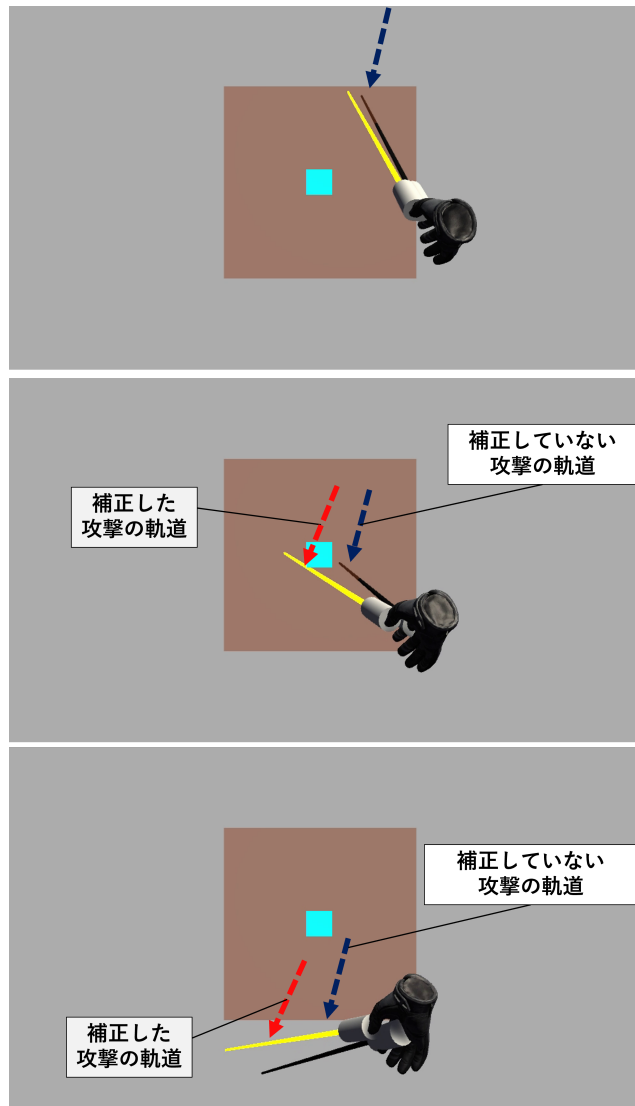


図 4.5 標的位置に対して余り離れていない場合の例 2

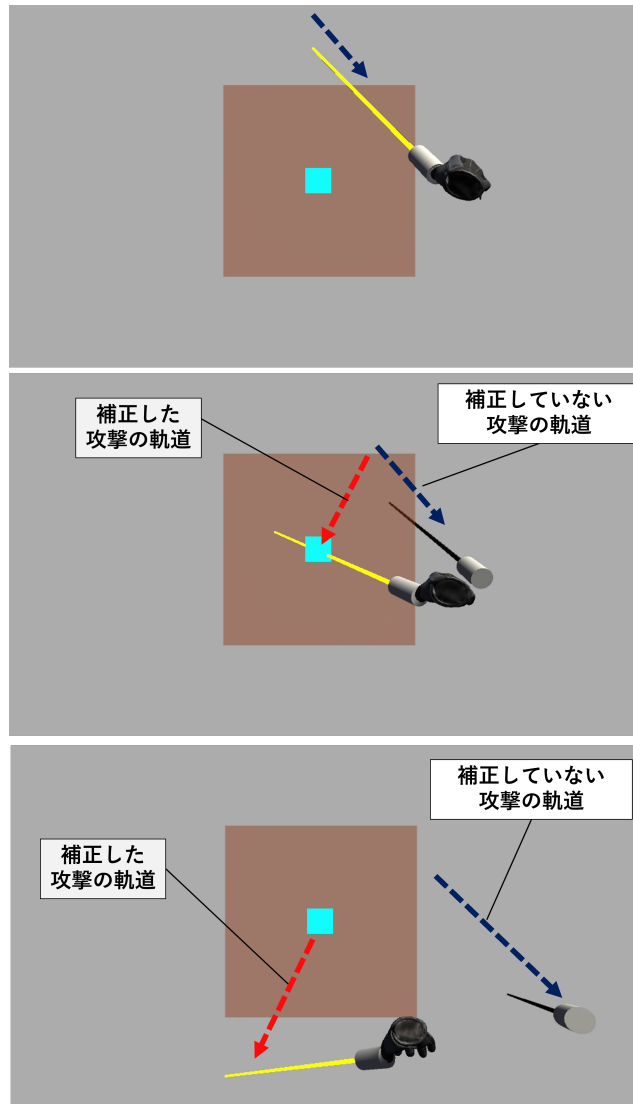


図 4.6 標的位置に対して大幅に外れている場合の例 1

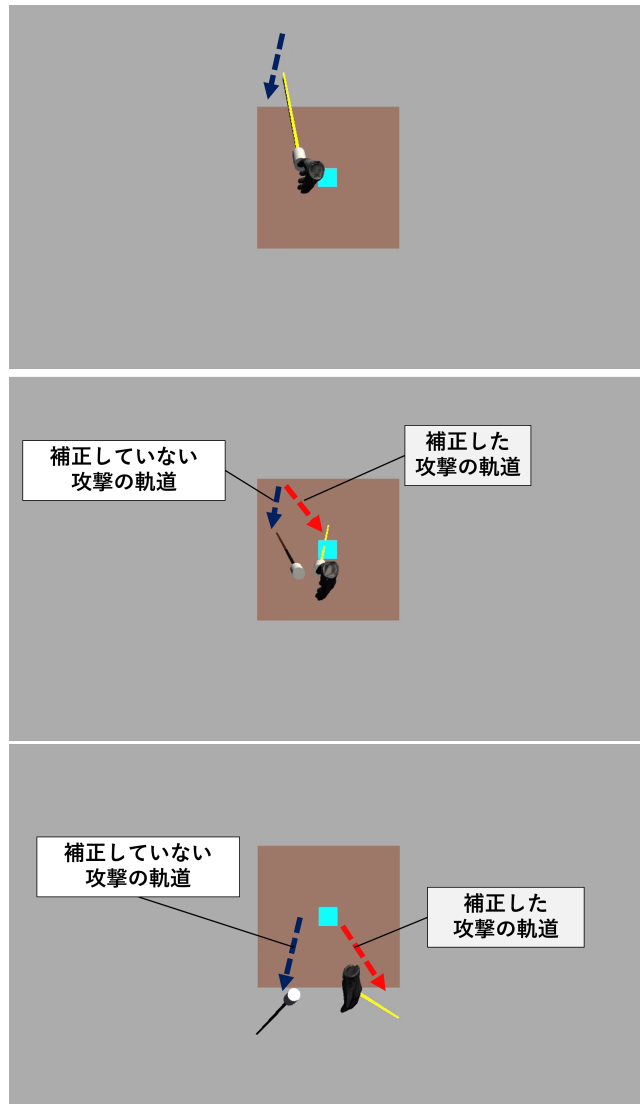


図 4.7 標的位置に対して大幅に外れている場合の例 2

第 5 章

評価実験

本章では、本研究の提案手法をに対して行った評価実験について述べる。

5.1 実験内容

本研究の評価実験として、本論文で述べた補正手法を使用した場合と、使用しない場合に、ピンポイント近接攻撃を当てる時間に差異はあるかを検証した。また、補正を適用した場合と適用しない場合での、プレイヤーが感じた体験についてアンケートを用いて検証を行った。4.1節,4.2節,4.3節で述べた検証用の環境を用いて実験を作成した。3.5節で述べた標的を被験者の周囲に特定個数設置し、武器を標的にぶつけた際に標的を破壊するよう設定した。その上で全ての標的を破壊するまでの時間及び、標的破壊時に補正が適用されていた回数を計測するものである。今回の実験では、標的の総数は30とした。また、一度に設置する数を3と設定し、標的を3つ破壊する毎に新たな標的を3つ設置した。標的の設置は、予め任意の範囲(以下スポンエリアと呼称)を設定し、その範囲で行うものとした。また、標的を15個破壊した段階でスポンエリアを変化させるものとした。破壊数が0以上15以下の状態をフェーズ1とし、破壊数が16以上30以下の状態をフェーズ2とする。フェーズ1ではスポンエリアを被験者前方の3か所に設定した。図5.1はフェーズ1の位置関係を示した図である。フェーズ2では前方3箇所、被験者の左右2ヶ所を加えた5箇所をスポンエリアとした。図5.2はフェーズ2の位置関係を示した図である。

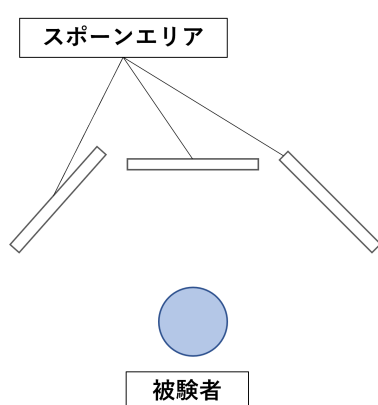


図 5.1 フェーズ 1 の出現範囲

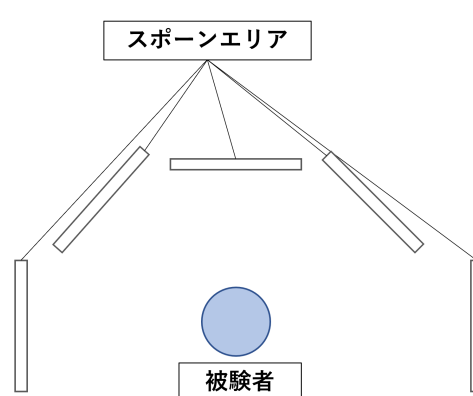


図 5.2 フェーズ 2 の出現範囲

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、非手法条件下) で 1 度ずつ行った。手法条件下と非手法条件下の実験を行う順番は筆者が決定した。また、被験者には手法条件下であるかは伝えずに実験を行った。また、1 番目に非手法条件下でプレイし、2 番目に手法条件下でプレイした験者を A 群とし、1 番目に手法条件下でプレイし、2 番目に非手法条件下でプレイした被験者を B 群とした。実験は以下の手順で行った。

1. 被験者を A 群・B 群に振り分ける
2. 操作と実験内容の説明を行う
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 A 群 B 群それぞれの群の 1 番目の条件で行う
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 A 群 B 群それぞれの群の 2 番目の条件で行う
7. 終了後、アンケートの記入を行う

5.1.1 アンケート内容

この項ではアンケートの内容について述べる。アンケートは A 群 B 群共に同じ項目を使用し、集計の際に A 群 B 群を振り分けて行った。アンケートは以下の内容で行った。

- (前半について) 自分の思ったように操作できたと思いましたか？
- (後半について) 自分の思ったように操作できたと思いましたか？
- (前半について) 操作に対して違和感をどの程度感じましたか？
- (後半について) 操作に対して違和感をどの程度感じましたか？
- 前半と後半のどちらの方が当てやすいと感じましたか？

「前半と後半のどちらの方が当てやすいと感じましたか？」のみ前半・後半を指定する形とし、他

のアンケートは、1 をネガティブ評価、10 をポジティブ評価とした 10 段階評価で行った。

5.1.2 取得ログ内容

実験中のデータを計測し出力した、計測したデータは以下のとおりである。

- 前半開始から終了までの経過時間
- 後半開始から終了までの経過時間
- 手法条件下で、手法が適用された状態で破壊した標的の数

5.2 実験結果

5.1 節のとおり実験を行った。今回の実験では、A 群の被験者が 3 名、B 群の被験者が 3 名となった。

表 5.1 と表 5.2 は A 群と B 群それぞれの、「自分の思ったように操作できたかどうか」の項目に対する回答である。1 を「全く思い通りにならなかった」、10 を「完璧に思った通りに動かせた」、とした 10 段階評価である。

表 5.1 自分の思ったように操作できたかどうか (A 群)

	なし	手法あり
被験者 A	1	6
被験者 B	10	10
被験者 C	3	7

表 5.2 自分の思ったように操作できたかどうか (B 群)

	手法あり	なし
被験者 D	9	6
被験者 E	10	8
被験者 F	7	4

自分の思ったように操作できたかどうかという質問では、6人中5人が手法適用時に、より自分の思ったように操作できていると感じたという結果となった。

表 5.3 と表 5.4 は、「操作に対して違和感をどの程度感じたか」の項目に対する回答である。1 を「違和感をとても強く感じた」、10 を「全く違和感を感じなかった」とした 10 段階評価である。

表 5.3 操作に対して違和感をどの程度感じたか？ (A 群)

	なし	手法あり
被験者 A	8	8
被験者 B	10	10
被験者 C	2	8

表 5.4 操作に対して違和感をどの程度感じたか？ (B 群)

	手法あり	なし
被験者 D	5	6
被験者 E	9	8
被験者 F	5	2

操作に対して違和感をどの程度感じたかという質問に対し、6人中1人が手法適用時に違和感を強く感じ、6人中2人が適用時と無適用時で違和感の変化が無いと感じていた。また、6人中3人が手法適用時の違和感が少ないという結果となった。

表 5.5 は、「前半と後半のどちらの方が当てやすいと感じたか？」の項目に対する回答である。

表 5.5 前半と後半のどちらの方が当てやすいと感じたか？

	前半 (手法なし)	後半 (手法あり)
A 群	1	2
	前半 (手法あり)	後半 (手法なし)
B 群	3	0

前半と後半のどちらの方が当てやすいと感じたかという質問に対し、6人中5人が手法適用時のタイミングに、より当てやすいと感じたという結果になった。

表 5.6 と表 5.7 は、実験時の各タイミングでの経過時間と手法が適用された状態での命中数である。

表 5.6 A 群被験者の計測データ

	手法なし経過時間 (秒)	手法あり経過時間 (秒)	手法適用中の命中数 (回)
被験者 A	45.19	44.46	22
被験者 B	57	34.27	27
被験者 C	93.88	70.81	26

表 5.7 B 群被験者の計測データ

	手法あり経過時間 (秒)	手法なし経過時間 (秒)	手法適用中の命中数 (回)
被験者 D	31.4	40.51	28
被験者 E	61.5	64.34	7
被験者 F	65.84	91.75	30

手法適用時と手法無適用の場合を比較した場合に、手法適用時の経過時間が短い事が見て取れる。特に、手法無適用時の経過時間が長い場合、手法適用時に経過時間がより短縮されている。また、被験者 E は、手法が適用された回数が少ないため、攻撃時に標的から眼をそらしている、アイトラッキングをうまくできていない、といった可能性がある。

5.3 考察

実験の結果、A 群及び B 群のいずれも、手法を適用した場合に経過時間の短縮が見られた。このことから、提案手法には、命中率向上効果があると考えられる。アンケートによる主観評価では、A 群と B 群共に手法を適用した場合に、より自分の思ったように操作できていると感じる被験者が多い。これは、命中率が向上したことにより「標的を斬りたい」という被験者の目的を達成できる割合が上昇しているからだと考えられる。また、手法適用時の操作に対してより違和感を感じた被験者は総被験者の半数程度であった。これは筆者が 4.4 節での自己検証から想定していた違和感の大きさよりかなり小さい。その理由は被験者の動きにあると思われる。実験時には攻

撃の動作を指定しなかったため、標的を上からまっすぐ切るような動きの被験者が多かった。そのため、4.4 節で述べたような違和感の強くなる動作パターンをしていなかった事が理由の一つだと考えられる。

第 6 章

まとめ

VR ゲームでの近接攻撃には、特定箇所へ攻撃を当てるのが難しいという問題があり、多数の敵と一度に相対する VR ゲームや、ゲームスピードの速い VR ゲームでは更に難しくなる。

そこで、本研究では、VR ゲームで特定箇所を近接攻撃する際の補助手法を提案した。

本手法では、アイトラッキングと判定の拡大を用いてプレイヤーが狙っている箇所を特定し、近接攻撃を狙っている箇所に当たるよう位置と角度を補正することで、大まかに狙いがあったら近接攻撃を狙った箇所に当てることができる補助を実現した。

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、補正による違和感も無補正の場合に比べて致命的に強いわけではないという事が見てとれた。そのため、提案手法はピンポイント近接攻撃の命中補助に一定の効果があると言えるだろう。また、多数の標的に対しても同様に手法を適用できるため、本研究の目的の一つである、多数の敵と一度に相対する VR ゲームでのピンポイント近接攻撃の補助に、本手法は有効であると思われる。

しかし、もう一つの目標であるゲームスピードが速い VR ゲームにおける有効性について、本論文では検証が行えていない。また、移動する標的に対しての手法の有効性や、標的の大きさと拡張判定の最適な比率などに対する検証は行えていないため、今後の課題としたい。今後の展望として、手法の条件を変えることによる、手法の多方面への応用がある。プレイヤーの熟練度に対する補正強度の動的な変更や、標的によって拡張判定の大きさを変えるなどの、レベルデザイン面からの検証や、現在の必ず当たる補正ではなくある程度標的に近づけるだけの補正にした場合の検討、及びに攻撃に使う武器が現実的な物理素材の武器である場合と、エネルギー刃のような物の場合の手法に対する違和感の違いなど、本手法の様々な面に対して、研究の余地が残されている。

謝辭

本研究を進めるにあたり、多くの指導を頂いた先生方、共に協力し合った友人達、実験に協力してくださった渡辺研究室の皆様にご心より感謝いたします。渡辺先生には、長い間とても多くの助力を頂きました。学部3年生から4年もの間、研究のご指導をして頂いたことに感謝いたします。阿部先生には、とても多くの助言をいただきました。阿部先生のわかりやすく端的なアドバイスはとてもありがたかったです。同じ修士の友人方は、締め切りに追われる私をいつも助けてくださり、その節は大変ご迷惑をおかけしました。急遽行った実験に参加してくださった修士1年生の皆様、本当にありがとうございました。あの実験が無ければ私は留年していたと思います。

また、予定になかった大学院進学を許可してくださった両親に感謝します。学部4年生の10月という遅すぎる時期に、大学院に進学したいと言ったのに、快く送り出してくれて本当にありがとうございました。

皆様、本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] Yasin Farmani and Robert J. Teather. Player performance with different input devices in virtual reality first-person shooter games. SUI '17, p. 165, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [2] Yomuneco Inc. ソード・オブ・ガルガンチュア. <https://ja.gargantuavr.com/>. 参照: 2022.11.23.
- [3] SIE Santa Monica Studio. ゴッド・オブ・ウォーIII. https://store.playstation.com/ja-jp/product/JP9000-CUSA01720_00-0000GODOFWAR3PS4. 参照: 2022.11.24.
- [4] COGNOSPHERE. 原神. <https://genshin.hoyoverse.com/ja>. 参照: 2022.11.24.
- [5] 築瀬洋平, 鳴海拓志. 誰でも神プレイできるジャンプアクションゲーム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 415–422, 2016.
- [6] Viviane Clay, Peter König, and Sabine König. Eye tracking in virtual reality. *J Eye Mov Res*, Vol. 12, No. 1, April 2019.
- [7] Vildan Tanriverdi and Robert J. K. Jacob. Interacting with eye movements in virtual environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2000.
- [8] Inoue Yumiko. The relationship between spatial cognition and gaze distribution in virtual reality space. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, Vol. 8, No. 6, p. 389, 2019.
- [9] 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.
- [10] 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.

- [11] 広夢宮下, 雅樹林, 謙一岡田. 視線入力インターフェースを備えた hmd による vr 空間没入支援. *VR 学研報*, Vol. 13, No. CS-2, pp. 25–30, 2008.
- [12] 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.
- [13] 柿沼育, 小宮山撰. 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.
- [14] 内村裕也, 大槻麻衣, 柴田史久, 木村朝子. 身体性を重視した vr 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャの試作と考察. *ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集*, 2018.
- [15] Anjul Patney, Marco Salvi, JooHwan Kim, Anton Kaplanyan, Chris Wyman, Nir Benty, David Luebke, and Aaron Lefohn. Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 35, No. 6, dec 2016.
- [16] 株式会社 FOVE. FOVE 0. <https://fove-inc.com/>. 参照: 2023.02.04.
- [17] HTC. HTC VIVEPROEye. <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/>. 参照: 2022.11.17.
- [18] ソニー・インタラクティブエンタテインメント. PSVR2. <https://www.playstation.com/ja-jp/ps-vr2/>. 参照: 2023.02.04.
- [19] enhance experience. Rez Infinite. <https://www.famitsu.com/news/202301/20290084.html>. 参照: 2023.02.06.
- [20] Jesse Joudrey Graham Gaylor. VRChat. <https://hello.vrchat.com/>. 参照: 2023.02.06.
- [21] 株式会社バーチャルキャスト. VirtualCast. <https://virtualcast.jp/>. 参照: 2023.02.06.
- [22] Scott Bateman, Regan L. Mandryk, Tadeusz Stach, and Carl Gutwin. Target assistance for subtly balancing competitive play. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on*

Human Factors in Computing Systems, CHI '11, pp. 2355–2364, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.

- [23] Rodrigo Vicencio-Moreira, Regan L. Mandryk, Carl Gutwin, and Scott Bateman. The effectiveness (or lack thereof) of aim-assist techniques in first-person shooter games. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 937–946, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [24] Andreas Aristidou, Joan Lasenby, Yiorgos Chrysanthou, and Ariel Shamir. Inverse kinematics techniques in computer graphics: A survey. *Computer Graphics Forum*, Vol. 37, , 2018.
- [25] David A. Robinson. A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. *IEEE Transactions on Bio-medical Electronics*, Vol. 10, No. 4, pp. 137–145, 1963.
- [26] Alon S. Keren, Shlomit Yuval-Greenberg, and Leon Y. Deouell. Saccadic spike potentials in gamma-band eeg: Characterization, detection and suppression. *NeuroImage*, Vol. 49, No. 3, pp. 2248–2263, 2010.
- [27] Onur Ferhat and Fernando Vilariño. Low cost eye tracking: The current panorama. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2016, p. 8680541, Mar 2016.
- [28] 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.
- [29] Unity Technologies. Unity. <https://unity.com/ja>. 参照: 2022.11.17.
- [30] ValveSoftware. SteamVRpluginforUnity - v2.7.3(sdk 1.14.15). <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647>. 参照: 2022.11.17.

発表実績

展示発表

1. 栗原亨輔, 渡辺大地, アイトラッキングを用いた VR 空間上での照準補助手法の提案, NICO-GRAPH2019, 2019

ポスター発表

1. 栗原亨輔, 渡辺大地, アイトラッキングを用いた VR 空間上での照準補助手法の提案, NICO-GRAPH2020, 2020
2. 栗原亨輔, 阿部雅樹, 渡辺大地, VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究, 映像表現・芸術科学フォーラム 2022, 2022

口頭発表

1. 栗原亨輔, 阿部雅樹, 渡辺大地, VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究, 令和 3 年度第 2 回芸術科学会東北支部研究会, 2022
2. 栗原亨輔, 阿部雅樹, 渡辺大地, VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究, NICO-GRAPH2022, 2022
3. 栗原亨輔, 阿部雅樹, 渡辺大地, VR でのピンポイント近接攻撃の補助に関する研究, 第 33 回 デジタルコンテンツクリエイション研究会, 2023